

Anat.

365

7



Anat. 365 2

Rostovsky

Über
funktionelle Beziehungen beider Gehörorgane.

Inaugural-Dissertation

zur

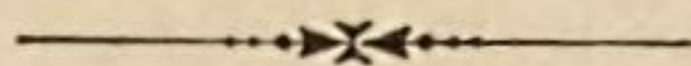
Erlangung der philosophischen Doctorwürde

an der

Universität Leipzig

von

Paul Rostosky.



Leipzig

Wilhelm Engelmann

1897.



Meinen lieben Eltern.

Funktionelle Beziehungen beider Gehörorgane sind solche, die zwischen ihren Erregungen bestehen und durch sie zugleich bedingt sind. Für die Erforschung derartiger Beziehungsercheinungen steht uns neben der subjektiven Beobachtung der psychologischen Resultate aus den Beziehungsvorgängen noch die objektive Untersuchung ihrer physikalischen, anatomischen und physiologischen Bedingungen zu Gebote. Mit Hülfe dieser beiden Erfahrungsquellen finden wir — den psychophysischen Parallelismus vorausgesetzt — zunächst die Existenz eines Beziehungsvorganges gesichert, sobald wir beobachten, dass die Empfindungen, welche solche gleichzeitige bilaterale Erregungen begleiten, gewisse Abweichungen von dem ungestörten Nebeneinander derjenigen beiden Empfindungen aufweisen, welche jeder der beiden Erregungen einzeln entsprechen würden. Die hierdurch gegebenen Empfindungsmerkmale des Beziehungsvorganges sowie die objektiven Kenntnisse der Reizbedingungen gestatten uns ferner, Schlüsse zu ziehen auf die Beschaffenheit der Vorgänge, vornehmlich auf die Art der Beziehung zwischen den betreffenden Erregungen, dann auf die Natur der aus ihr resultierenden Wirkungen und auch auf das Wesen der Komponenten derselben. Endlich können wir unter Heranziehung der Erfahrungen, welche aus objektiven Untersuchungen der Aufnahmeorgane und Leitungsbahnen der Erregungen gewonnen

worden sind, eine Feststellung des Ortes dieses Beziehungsvorganges versuchen, für welchen Zweck uns die Empfindung allein höchstens relative Bestimmungen liefern kann. Die Aufgabe der folgenden Untersuchung besteht sonach in der Beantwortung der an diese drei Punkte geknüpften Fragen, betreffend Existenz, Charakter und Ort der Beziehungsvorgänge.

Im folgenden ersten Teile wollen wir zunächst versuchen, mit Hülfe einer kritischen Übersicht über das bis jetzt vorliegende, schon recht umfangreiche Erfahrungsmaterial und die Versuche zur Lösung der oben namhaft gemachten Fragen ein möglichst zusammenhängendes Bild von den in Rede stehenden Verhältnissen zu gewinnen.

I.

Die Beziehungsvorgänge als solche sind, wie wir wissen, meist sicher an den ihre Resultate begleitenden Empfindungen zu erkennen; sie von einander zu unterscheiden, ist dagegen nicht immer leicht. Dennoch können wir nicht umhin, wenigstens ähnliche Erscheinungen in Gruppen zusammenzufassen. Wir wollen dabei die bisher bei gleichzeitiger Reizung beider Gehörorgane beobachteten Besonderheiten in dem Empfindungsganzen einteilen in solche der Intensität, der Qualität, der Lokalisation und der Zusammensetzung. Je nachdem das Empfindungsganze einem Monom oder einem Polynom vergleichbar ist, werden dann diese Besonderheiten entweder die Elemente und die Klangfarbe einer einheitlichen Totalempfindung oder die Elemente und den Akkord der Teilempfindungen betreffen. Innerhalb der Hauptgruppen werden wir jedoch die auf Details der betreffenden Erscheinungen bezüglichen Erfahrungen in historischer Reihenfolge und nach ihren Beobachtern geordnet durchgehen.

A. Die Modifikationen der Intensität.

Diese können sich natürlich ebensowohl als Verstärkung wie als Schwächung darstellen und verstehen sich bei einer Totalempfindung im Verhältnis zu derjenigen Empfindungsstärke, welche der stärkeren Erregung (denn diese könnte wohl als Vertreter der Intensität des Ganzen angesehen werden), bei Teilempfindungen aber der bezüglichen Erregung unter monotonischer Reizung entspricht. Je nachdem sie ferner bei konstanter Höhe und Stärke der Einzelerregungen mit ihrer Phasendifferenz periodisch wechseln oder nicht, können wir periodische und ständige Intensitätsmodifikationen unterscheiden; freilich bei gleicher Qualität der beiden Reize lässt sich dieser Unterschied erst mit Hülfe besonderer Experimente bemerkbar machen, weil dann auch die aus der Interferenz resultierende Intensitätsmodifikation keinem spontanen Wechsel unterliegt.

1. Periodische Modifikationen der Intensität.

Diese deuten mit Sicherheit auf eine Mischung und speziell auf eine Interferenz der beiderseitigen Erregungen. Da die Empfindungsmerkmale, durch welche sich die Art der Beziehung verrät, meist und besonders bei qualitativer Verschiedenheit der beiden Reize sehr deutliche sind, so sind die Interferenzerscheinungen und insonderheit die Schwebungen auch die am frühesten von allen Beziehungserscheinungen entdeckten und untersuchten.

Zuerst hat Dove¹⁾ (1839) eine derartige Erscheinung beobachtet; als er nämlich die eine von zwei vor ein Ohr gehaltenen

1) Dove, Nachtrag zu den Kombinationstönen. Repertorium d. Physik. Bd. 3, p. 404. 1839.

Gabeln, die nahezu gleich gestimmt waren, um den Kopf herum führte, verschwand allmählich die erst sehr deutliche Empfindung der Schwebungen beider, trat jedoch bei Annäherung der zweiten Gabel an das andere Ohr wieder auf. Diese Erscheinung weist natürlich mit Sicherheit auf ein Zusammentreffen der beiderseitigen Schallwirkungen hin; es fragt sich also nur, wo dasselbe zu stande komme. Dove erkannte die Möglichkeit einer doppelten Beantwortung dieser Frage, nämlich entweder durch die Annahme einer peripherischen Interferenz beider durch den Kopfknochen von Ohr zu Ohr geleiteten Schallwellen, oder mit Hülfe der Annahme einer centralen Vereinigung der beiden entsprechenden Nervenirregungen. Er ließ jedoch die Entscheidung zwischen beiden Erklärungsweisen dahingestellt, obwohl er die letztere für die wahrscheinlichere hielt. Die Voraussetzung, dass die Schallwellen nicht um den Kopf herum durch die Luft von einem Ohre zum anderen gelangten, hielt Dove bei seinem Versuche auf alle Fälle für erfüllt, da die Schwebungen ja schon nicht mehr vernommen wurden, wenn die zweite Gabel erst bis zur Medianebene geführt worden war.

Aber dieser Analogieschluss ist doch nicht ganz unbedenklich; denn die Verhältnisse, welche in beiden Fällen vorliegen, sind nicht genau dieselben; über Größe und Richtung der Abweichungen sind wir aber nicht genügend orientiert, um ihre Bedeutung richtig zu schätzen. Ja wir könnten mit mindestens derselben Berechtigung, mit welcher Dove annimmt, dass bei der Weiterführung der zweiten Gabel eine weitere Abnahme der von Ort und Lage derselben abhängigen Deutlichkeit der Erscheinung für das erste Ohr eintrete, das Gegenteil erwarten; denn einerseits steht fest, dass eine Schallerregung, wenn sie nur die genügende Intensität besitzt, sehr wohl um den Kopf herum von einer Seite zur andern gelangen und dort sogar eine Schallempfindung auslösen kann; andererseits erscheinen die größere

Zahl und ungefähre Gleichheit aller Wege, welche der Schall von der einen Seite zur andern zurückzulegen hat, als sehr günstige Interferenzbedingungen, wie sie bei einem anderen Standorte der Schallquelle nicht vorliegen.

Die von Dove offen gelassene Frage nach dem Interferenzort suchte Seebeck²⁾ (1846) durch folgendes Experiment mit einer Doppelsirene — zwei gleiche, in ca. 1 Fuß Abstand auf einer gemeinsamen Achse befestigte Löcherscheiben, zwischen welche der Kopf gebracht wurde — zu entscheiden, wobei durch die unisonen Töne zugleich die Phasendifferenz, von welcher die Interferenzerscheinung ja abhängig ist, und die im Dove'schen Versuche periodisch wechselte, konstant erhalten wurde. Für den Fall der von Dove bevorzugten Erklärung der Erscheinung durch eine »Sympathie der beiden Gehörsnerven«, wo sich entweder die objektiv entgegengerichteten oder die objektiv gleichgerichteten Schwingungen der Trommelfelle vertreten sollten, glaubte Seebeck dementsprechend bei gleichzeitigen Schalleindrücken entweder eine Verstärkung oder eine Aufhebung des Tones, bei alternierenden aber nicht etwa das Umgekehrte, sondern infolge der eigentümlichen Wellenform der verwendeten Reize entweder die Oktave oder eine Verstärkung mit Klangveränderung des Tones erwarten zu müssen. Es trat aber von alledem nichts ein, sondern der Ton wurde immer verstärkt gehört, wenn auch nicht in beiden Fällen gleich stark. Seebeck kommt hiernach zu dem Schlusse, dass von einer Sympathie der beiden Gehörsnerven nicht die Rede sein könne. — Die hier sicher vorhandene Luftüberleitung jedes Tones zum gegenüberliegenden Ohre kann natürlich den Wert dieses Versuches für die vorliegende Frage durchaus nicht

2) Seebeck, Beiträge zur Psychologie des Gehör- und Gesichtsinnes. Abschn. A. Pogg. Ann. Bd. 68, p. 449. 1846.

beeinträchtigen, indem hier, wo es sich nur um die Phasendifferenzen 0 und $\frac{1}{2} \lambda$ handelt, jede durch diese Luftüberleitung herbeigeführte Veränderung stets beide Erregungen in demselben Maße betreffen muss. — Die obigen resultierenden Erscheinungen nun erklärt Seebeck aus einer doppelten peripherischen Interferenz, welche zum Teil durch die Luftüberleitung zu stande kommt, zum Teil auch, wie die binauralen Schwebungen bei schwachen Stimmgabeltönen beweisen, wo die Luftüberleitung als ausgeschlossen betrachtet werden könne, auf Kopfknochenleitung zurückgeführt werden muss. — Dass bei diesen Interferenzen nicht dieselben Erscheinungen, welche Seebeck für den Fall einer centralen Mischung erwartet hatte, eintraten, erklärt sich nach den schon früher³⁾ (1843) von demselben Autor gewonnenen Erfahrungen teils aus der Ungleichheit der Intensitäten der interferierenden Erregungen, teils aus der von dem Gangunterschiede herrührenden Phasendifferenz derselben. Erstere könnte auch schon allein zur Erklärung der Erscheinungen genügen; denn die bei alternierenden Reizen auftretende Oktave würde, da sie ja nur die Intensität der schwächeren Komponente haben kann, neben dem Grundtone kaum gehört werden. — Die Phasenverschiebung kann auch in der That bei der Kürze des Weges von Ohr zu Ohr und bei der relativ großen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Kopfknochensubstanz, wie Seebeck meint, keine sehr beträchtliche sein, da sonst die Abweichung vom Synchronismus der beiderseitigen Schwebungen bemerkbar sein müsste. An Stärke fand er übrigens die diotischen Schwebungen nur solchen monotischen vergleichbar, welche bei beträchtlich verschiedener Intensität der Primärtöne vernommen werden.

So scharfsinnig nun aber dieser Autor (vergl. auch seine

3) Seebeck, Über die Sirene. Pogg. Ann. Bd. 60, p. 449. 1843.

Bemerkungen⁴⁾ 1849) die vorliegende Frage behandelt hat, so ruht doch der obige Beweis gegen die etwaige Sympathie der beiden Gehörnerven auf Voraussetzungen, durch deren Abweisung die Verhältnisse sich wesentlich anders gestalten. Zunächst überträgt er offenbar seine Theorie der Tonerzeugung⁵⁾ (1841), nach welcher schon eine mehr oder minder regelmäßige Reihe von Impulsen von ganz beliebiger Form zur Erregung des peripherischen Gehörorganes genügt, auch auf die anschließenden nervösen Vorgänge, sonst könnte er unmöglich bei alternierender Reizung beider Gehörorgane mit dem Grundtone eine Klangveränderung oder die Oktave desselben erwarten. Dies könnte höchstens noch dann gerechtfertigt erscheinen, wenn die interferierenden Erregungen nicht erst durch Vermittelung der elastischen Gebilde in der Schnecke, sondern direkt auf den Nerven übertragen würden. Jene dagegen werden wohl jede isochrone Reihe von Impulsen in pendelartige Schwingungen umwandeln. Dann aber lässt sich, wie die Verhältnisse auch liegen mögen, in den obigen Versuchen keinesfalls etwas anderes erwarten als Verstärkung oder Aufhebung des Grundtones. Aber auch dieses Resultat verlangt noch, dass beide Erregungen in ihrer Totalstärke zusammentreffen, eine Voraussetzung, welche durch nichts garantiert ist. Lassen wir auch diese fallen, so kann aus der centralen Mischung nur noch eine mäßige Verstärkung oder Abnahme der Tonintensität resultieren, ist also von einer peripherischen nicht mehr zu unterscheiden. Denn was die von Seebeck außerdem beobachtete ständige, wenn auch verschiedene, Verstärkung bei gleichzeitigen

4) Seebeck, Akustik. Abschn. H. Gehör. Teil IV. Kombination des rechten und linken Gehöreindrucks. Repertorium d. Physik. Bd. 8, p. 107. 1849.

5) Seebeck, Beobachtungen über einige Bedingungen der Entstehung von Tönen. Pogg. Ann. Bd. 53, p. 417. 1841.

und bei alternierenden Schalleindrücken betrifft (überhaupt eine vielumstrittene Erscheinung, von der unten weiter die Rede sein wird), so lässt sich dieselbe gar nicht auf Interferenz zurückführen und sonach auch nicht für eine peripherische noch besonders geltend machen. Dass übrigens die Luftüberleitung bei schwachen Tönen ausgeschlossen sei, bedarf doch auch erst des Nachweises, zumal wenn daraus auf die Existenz der Kopfknochenleitung geschlossen werden soll.

Gegen die Seebeck'sche Erklärung der fraglichen Erscheinung wurde jedoch zunächst kein Einwand erhoben, obwohl derselbe Gegenstand mehrfach, besonders von Ohrenärzten, behandelt wurde.

Die Neigung Dove's zur entgegengesetzten Erklärung der vorliegenden Erscheinung wurde durch seine⁶⁾ 1859 gemachte Beobachtung, dass Differenztöne bei verteilten Gabeln nicht auftreten, wohl noch mehr bestärkt.

Dagegen schließt sich auch Fechner⁷⁾ (1860) der Seebeck'schen Erklärung an und bestätigt durch verschiedene Versuche dessen Beobachtung bezüglich der Deutlichkeit der diotischen Schwebungen: er findet bei letzteren z. B. die Totalstärke des gehörten Tones größer, die Deutlichkeit seiner Stärkeschwankungen aber geringer, als wenn eine der Gabeln oder gar beide auf den Kopf gesetzt werden.

Erst Mach⁸⁾ (1864) unternimmt eine Kritik des Seebeck's-

6) Dove, Beweis, dass die Tartini'schen Töne nicht subjektiv, sondern objektiv sind. Pogg. Ann. Bd. 107, p. 653. 1859.

7) Fechner, Über einige Verhältnisse des binokulären Sehens. Abschn. 18. Abhandl. d. Sächs. Ges. d. Wiss. 1860, p. 541.

8) Mach, Über einige der physiologischen Akustik angehörige Erscheinungen. Abschn. 6. Sitz.-Ber. d. Wien. Akad. d. Wiss. math. naturwiss. Kl. Bd. 50, Abt. 2, p. 342. 1864.

schen Experimentes, wobei er behauptet, dass, wenn es beweisend wäre, der negative Ausfall desselben ja zugleich gegen die Durchleitung der Töne von Ohr zu Ohr spräche; zudem sei die Methode Seebeck's schon deshalb unbrauchbar, weil man die Sirenen kreuzweise hinüberhöre; endlich könne das Experiment überhaupt gar nicht zwischen Sympathie und Durchleitung entscheiden, da es nur die Bedingungen der zu untersuchenden Erscheinung künstlich nachahme.

Dem gegenüber möchte ich zunächst bemerken, dass bei dem genannten Versuche freilich nicht die erwarteten, aber doch besondere Erscheinungen, welche auf Interferenz beider Töne deuteten, aufgetreten sind. Die Luftüberleitung aber würde nur dann stören, wenn infolge derselben gleiche Erscheinungen, wie die für den Fall einer Sympathie der Hörnerven erwarteten, eintreten könnten, oder wenn das Experiment zugleich die Kopfknochenleitung nachweisen sollte, was ja beides nicht der Fall ist. Endlich verliert die durch den Seebeck'schen Versuch herbeigeführte Entscheidung nur ihren Wert, weil die Voraussetzung des auf sie gestützten Schlusses hinfällig wird; denn die Erwartungen bezüglich der Empfindungsmerkmale einer eventuellen Sympathie beider Hörnerven sind, wie ich oben zu zeigen versuchte, unberechtigt.

»Die Annahme der Durchleitung«, sagt nun aber Mach, »die sich überhaupt durch ihre Einfachheit empfiehlt, ist auch theoretisch wahrscheinlich. Der Gehörapparat ist vorzüglich geeignet, Schall auf die Kopfknochen zu übertragen. — Die Annahme der Sympathie ist für mich höchst unwahrscheinlich. Jede Gabel löst in jedem Ohr so zu sagen einen kontinuierlichen Empfindungsstrom aus, der gar nichts mehr von Vibration an sich hat. Wie kommen diese Empfindungsströme dazu, sich wie Schallwellen zu verhalten?« Mach sucht nun die Annahme der Durchleitung der Töne von Ohr zu Ohr, die einzige

Erklärung, welche noch möglich ist, da man doch die Gabeln nicht durch die Luft von einem Ohre zum anderen hinüberhöre, durch folgendes Experiment direkt zu beweisen, welches sich darauf stützt, dass die Schwingungen vom Kopfknochen aus, gleichviel durch welche Mittelglieder, wirklich auf die Luft des Gehörganges übertragen werden, wie dies aus früher (1863) angestellten Versuchen erhellt. Er brachte nämlich vor das eine Ohr eines Beobachters eine tönende Stimmgabel, während er das andere mit dem Ohre eines zweiten Beobachters durch ein Röhrchen verband. Zwar ist er selbst als zweiter Beobachter nicht im stande gewesen, den Ton aus dem Ohre des ersten zu hören, er bemerkt jedoch, dass andere besser hörende Beobachter ihn vernommen und richtig angegeben hätten.

Darin kann ich nun aber Mach nicht ohne weiteres beistimmen, dass der »Empfindungsstrom« wirklich kontinuierlich sei und nichts von Vibration an sich habe; denn damit wäre ja unsere Frage von vornherein entschieden, und jede Untersuchung überflüssig. Dass man ferner einen Ton durch die Luft nicht von einem Ohre zum anderen hinüberhöre, scheint mir allerdings kein geeignetes Kriterium gegen die Entstehung der Schwebungen durch Luftüberleitung jedes Tones zu sein; denn es ist doch sehr wohl denkbar, dass ein für sich allein unhörbarer Ton unter gewissen Umständen mit einem anderen merkliche Schwebungen gebe. Gegen das obige Experiment aber lässt sich, wenn genügend für Ausschluss der direkten Luftüberleitung des Tones zum zweiten Reagenten gesorgt ist, höchstens einwenden, dass der positive Ausfall desselben, der ja nur bei ziemlich lauten Tönen möglich ist, hier vielleicht auf Rechnung besonders günstiger Umstände zu setzen sei, wie sie nicht einmal verhältnismäßig bei leisen Tönen vorliegen. Dieser Einwand, wie überhaupt die gegenteilige Erklärung der in Rede stehenden Erscheinung, erhält aber durch einen

negativen Ausfall des Experimentes bei leisen Tönen auch noch keineswegs eine Stütze. Denn erstlich muss anerkannt werden, dass letzteres die Wahrnehmung des Tones schon durch dessen längere Leitung erschwert gegenüber denjenigen Bedingungen, unter welchen dieselbe nachgewiesen werden soll; und dann ist zu bedenken, dass die übergeleitete Erregung, um Schwebungen verursachen zu können, ja gar nicht einmal für sich wahrnehmbar zu sein braucht.

Ein Urteil über die Stärke der diotischen Schwebungen erhielt Mach durch einen dem Seebeck'schen ähnlichen Versuch, bei welchem jedoch die Luftüberleitung jedes einerseits zugeleiteten Tones zum anderen Ohre auch nicht ausgeschlossen war: »Eine Röhre, vor deren Mündung eine Stimmgabel schwingt, läuft in drei Zweige a , b , c aus, deren Längen beziehungsweise λ , $\frac{\lambda}{2}$, λ sind, wobei λ die Wellenlänge der Stimmgabel ist. Die Röhren a , b laufen in eine Mündung zusammen und führen zum linken Ohr, die Röhre c geht zum rechten. Jede der Gummiröhren kann zugeedrückt werden.« Hört man durch a , b , so hebt sich der Schall fast ganz auf. Bei der Kombination a , b , c ist der Schall schwächer als bei a , c oder b , c . Nimmt man abwechselnd a , c und b , c , so hat man den Eindruck der Schwebungen, zwar nicht so deutlich, wie ihn zwei vor die Ohren verteilte Gabeln hervorbringen, aber doch merklich. Das geringe Hervortreten der Schwebungen in diesem Versuche schreibt Mach dem Umstande zu, dass die Unterscheidung durch die Pause, welche beim abwechselnden Zudrücken von a und b entsteht, erschwert werde. Dasselbe Resultat wurde erhalten, wenn durch eine Röhrenvorrichtung der Ton abwechselnd in gleichen und entgegengesetzten Phasen von den verschiedenen Zinkenseiten einer und derselben Gabel aufgenommen wurde.

Docq⁹⁾ (1870) hat eigentümlicher Weise bei verteilten Gabeln keine Schwebungen wahrnehmen können.

Den Schwebungsversuch stellte Mach¹⁰⁾ (1874) in der Weise an, dass er von jedem Ohre nach rechts und links Kautschukschläuche führte und vor deren Öffnungen je eine von zwei nahezu gleich gestimmten Gabeln brachte. Bezüglich des Gangunterschiedes, der sich infolge der Durchleitung für die interferierenden Töne ergeben sollte, ist er der Meinung, dass derselbe erst bei höheren Tönen in Betracht kommen könne. Beim diotischen Hören eines Klanges soll dann daraus je nach der Richtung, aus welcher er kommt, (infolge einer beiderseits verschiedenen Intensitätsmodifikation der höheren Partialtöne desselben) eine Verschiedenheit in der Klangfarbe für beide Ohren resultieren.

Auch Terquem und Boussinesq¹¹⁾ (1875) bemerkten, als sie Gabeln mit verschiedenen Intervallen (bis zu einer kleinen Terz = 25 Schwebungen p. S.) vor die Ohren verteilten, weder einen Kombinationston noch Schwebungen, sondern hatten nur ein Gefühl der Dissonanz. Sie schlossen daraus auf gänzliche Unabhängigkeit der Empfindungen beider Ohren.

Im Jahre 1877 wurde die Dove'sche Erscheinung auch von S. P. Thompson¹²⁾ beobachtet und einer genaueren Untersuchung unterzogen, deren Resultate in verschiedenen Arbeiten

9) Docq, Recherches physico-physiologiques sur la fonction collective des deux Organes de l'Appareil auditif. Mém. cour. de l'Acad. de Belgique. T. 34. 1870.

10) Mach, Bemerkungen über die Funktion der Ohrmuschel. Arch. f. Ohrenheilk. Bd 9, p. 72. 1874.

11) Terquem et Boussinesq, Recherches sur la théorie des battements. Journ. de Phys. d'Almeida. T. 4, p. 193. 1875. (n. R.).

12) S. P. Thompson, On Binaural Audition. Philosophical Magazine. vol. 4, part. 2, p. 274. 1877.

mitgeteilt sind. Zunächst bediente er sich zur Vermeidung der Tonüberleitung von Ohr zu Ohr durch die umgebende Luft einer Versuchseinrichtung, welche der zuletzt erwähnten Einrichtung Mach's ähnlich war: zwei Gummischläuche führten von den beiden Ohren des Reagenten aus in zwei verschiedene Zimmer hinüber, wo sie in Resonanzkästen mündeten; vor letztere wurden entsprechende Gabeln (246 und 256 Schw.) gehalten. Die Schwebungen derselben wurden nun, selbst wenn die Gabeln so leise tönnten, dass sie einzeln gar nicht hörbar waren, doch sehr deutlich vernommen. Auch bei größeren Tondistanzen waren die Schwebungen, welche übrigens beim diotischen Hören dieselbe Frequenz haben wie beim monotischen, noch sehr deutlich und zudem auffallend rauh. Die Incisionen, welche Thompson bei ca. zwei Schwebungen p. S. beobachtete, waren jedoch im ersten Falle nicht so stark wie im letzten. Es wurde immer von dem Momente an, wo die Phasen der beiden Töne gerade entgegengesetzt waren, nur eine leichte Zunahme der Intensität des Tones bemerkt. Bezüglich der Erklärung dieser Erscheinung ist Thompson einigermaßen in Verlegenheit. Die etwaige Überleitung der Schallwellen von Ohr zu Ohr, sei es durch die Eustachischen Röhren, sei es durch den Kopfknochen, hält er für ausgeschlossen, weil beim diotischen Hören unter Anwendung obiger Versuchseinrichtung Differenztöne nie wahrgenommen worden waren. Da außerdem keine Kreuzung der Hörnerven vorliege, wie sie die Sehnerven erfahren, so meint er, müsse die lokale Bedingung für jene Beziehung der beiden Erregungen wohl central im Apperceptionsorgan gesucht werden. Aus der centralen Mischung beider Erregungen glaubt er auch die Rauhigkeit aller Intervalle, überhaupt die eigentümliche Diskontinuität der Empfindung, welche er beim diotischen Hören beobachtet hat, verstehen zu können, welche eben deshalb auftreten soll, weil keine Mischung der Töne möglich ist vor ihrer

Einwirkung auf den „sensitive mechanism of the nerve-structures“.

Die Versuchsanordnung Thompson's, die, was die isolierte Zuleitung der beiden Töne betrifft, jedenfalls vorzüglich ist, hat vielleicht doch aber das Bedenkliche, dass die Kautschukröhren direkt mit den Resonatoren verbunden sind; denn hierdurch könnten die auf ihre Masse übertragenen Schwingungen der letzteren die Reinheit der Versuchsergebnisse beeinträchtigen. Was ferner die Abweisung der peripherischen Interferenz beider Töne betrifft, so erscheint dieselbe durch die Bemerkung, dass diotisch keine Kombinationstöne vernommen wurden, doch zu wenig gerechtfertigt; denn dieselbe setzt zunächst voraus, dass Kombinationstöne auch bei Zuleitung der Primärtöne durch den Kopfknochen (von der Luftleitung durch die Eustachischen Röhren kann jedenfalls abgesehen werden, da dieselbe, wenigstens in normalen Fällen, nie beobachtet worden ist) entstehen können, was nicht unbestritten geblieben ist*); und müssen denn die von dem Intensitätsverhältnis der interferierenden Töne abhängigen Bedingungen der Wahrnehmung notwendig für Schwebungen und Differenztöne dieselben sein? Sie sind ja schon

*) Preyer¹³⁾ (1891) beobachtete, dass der Kombinationston selbst bei den lautesten Pfeifen nicht durch Kopfknochenleitung zur Perception komme, wie dessen Primärtöne. Dagegen bemerken allerdings Schaefer¹⁴⁾ (1890) und Scripture¹⁵⁾ (1892) einstimmig, dass ein Differenzton entstehe, mag man die betreffenden Gabeln beide auf den Kopf setzen oder eine derselben vor ein Ohr halten. — Sollte der negative Ausfall bei Preyer nicht auf die durch den Ohrverschluss verminderte Schallzuleitung der Töne zurückzuführen sein?

13) Preyer, Über Kombinationstöne. Wied. Ann. Bd. 38, p. 131. 1891.

14) Schaefer, Über Wahrnehmung und Lokalisation von Schwebungen und Differenztönen. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. Bd. 1, p. 81. 1890.

15) Scripture, Einige Beobachtungen über Schwebungen und Differenztöne. Philos. Stud. Bd. 7, p. 630. 1892.

für verschiedene Schwebungsfrequenzen verschieden. Die Annahme der centralen Beziehung beider Erregungen erhält endlich durch die Diskontinuität der Empfindung wohl kaum eine Stütze; auch liegen von anderen Seiten keine Beobachtungen über die Rauhigkeit vor.

Verschiedene weitere Ergebnisse seiner Untersuchungen teilt S. P. Thompson¹⁶⁾ 1878 mit, doch betreffen dieselben fast ausschließlich die eigentümlichen Lokalisationserscheinungen bei diotischen Wahrnehmungen, auf welche wir erst später eingehen werden. Bezüglich der oben gegebenen Erklärung der Interferenzerscheinungen scheint Thompson, da sich keine Bestätigung derselben durch weitere Experimente gefunden hat, etwas schwankend geworden zu sein. Auch den dort so betonten dissonanten Charakter und die Rauhigkeit selbst konsonanter Intervalle ist er hier geneigt, auf die bloße Abwesenheit der Differenztöne zurückzuführen. Auch Summationstöne konnten bei Verteilung der entsprechenden Gabeln vor die Ohren nie gehört werden.

Bezüglich der Interferenzerscheinungen hat S. P. Thompson¹⁷⁾ (1881) noch einiges Weitere veröffentlicht. Den bisher besprochenen, welche er nicht für subjektiv erachtet, stellt er nämlich noch eine neue Art an die Seite: die durch Gummischläuche getrennt zu den beiden Ohren geleiteten nahezu unisonen Töne zweier Orgelpfeifen, und zwar ein sehr lauter Ton einerseits und ein schwacher andererseits lösten einander momentan ab; trotzdem wurden noch $1\frac{1}{2}$ sec. hindurch Schwebungen gehört, welche nur durch Interferenz der abklingenden

16) S. P. Thompson, Phenomena of Binaural Audition. Philosophical Magazine. vol. 6, part. 2, p. 383. 1878.

17) S. P. Thompson, Phenomena of Binaural Audition. Philosophical Magazine. vol. 12, part. 2, p. 351. 1881.

akustischen Empfindung des ersten Tones mit dem zweiten entstehen konnten. Natürlich ergab sich dasselbe Phänomen erst recht bei Zuleitung beider Töne zu demselben Ohr. Eine Bestätigung dieser Erscheinung erblickt Thompson in der folgenden Erfahrung: eine an Diplakusis binauralis mit Halbtondifferenz beider Ohren leidende Person hörte jeden Ton in dem tieferen Teile der Skala schwebend. Thompson bezeichnet diese Erscheinungen als Interferenzen zwischen objektiven und subjektiven Tönen. — Interessant ist, dass Dvořák¹⁸⁾ (1876) monotonisch bei Interferenz abklingender akustischer Empfindungen mit objektiven Tönen unter ganz ähnlichen Bedingungen wie Thompson auch Differenztöne von ca. 1 sec. Dauer erzielt hat. Eine eigentümliche Beobachtung hat ferner Preyer¹⁹⁾ (1876) gemacht, dass nämlich „noch am folgenden Tage die Schwebungen, namentlich hoher Töne, entotisch wiederkehrten, wenn die Umgebung sehr ruhig wurde“. Mit dieser Beobachtung lässt sich freilich die Mitteilung von Urbantschitsch²⁰⁾ (1881), dass bei Nachbildern zweier disharmonischer Töne nicht jene schwirrenden Geräusche (doch wohl Schwebungen!) auftreten, die bei objektiven Tönen bestehen, kaum in Einklang bringen. Ein Widerspruch gegen die obige Thompson'sche Beobachtung liegt aber darin jedenfalls nicht, da Urbantschitsch selbst die Nachbilder von den abklingenden akustischen Empfindungen streng scheidet.

Was dagegen den oben besprochenen pathologischen Fall betrifft, so steht derselbe oder vielmehr die dabei gemachte Beobachtung einzig da.

18) Dvořák, Über eine neue Art von Variationstönen (Schleiftöne). Pogg. Ann. Bd. 154, p. 611. 1876.

19) Preyer, Über die Grenzen der Tonwahrnehmung. p. 72. 1876.

20) Urbantschitsch, Zur Lehre von der Schallempfindung. Pflüg. Arch. Bd. 24, p. 574. 1881.

Fechner²¹⁾ (1883) ist geneigt, die von Tarchanow und Preyer beobachtete Verstärkung beim diotischen Hören, die uns unten noch weiter beschäftigen wird, auf eine doppelseitige Interferenz der je durch den Kopfknochen von Ohr zu Ohr geleiteten Erregungen zurückzuführen. Besonders entkräftet er den auf die Thatsache, dass eine schwach tönende Gabel, vor das eine verschlossene Ohr gehalten, im anderen nicht gehört wird, gestützten Beweis gegen die Kopfknochenleitung, indem er einerseits die Möglichkeit darthut, dass eine Schallerregung auch sehr wohl von den schwingenden Teilen des Gehörorgans auf den Kopfknochen übertragen werden könne, und andererseits erkennt, es brauche »der Schall, der auf irgend welchem Wege durch die Kopfknochen von einem Ohr zum anderen gelangt, nicht für sich hörbar zu sein, nicht selbst die Schwelle zu übersteigen, wenn er nur reicht, einem wenig unter der Schwelle befindlichen Schall einen zur Übersteigung der Schwelle hinreichenden Zuwachs zu erteilen.«

Wenn Fechner aber umgekehrt die Schwäche der diotischen Schwebungen als einen Beweis gegen die centrale Interferenz in Anspruch nehmen möchte, so könnte ich dies höchstens dann gerechtfertigt finden, wenn es feststände, dass diese Interferenz die beiderseitigen Erregungen in ihrer Totalintensität betreffen müsste.

Stumpf²²⁾ stellt in seiner Tonpsychologie eine Reihe von Bestimmungsmomenten der diotischen Interferenzerscheinungen zusammen. Er bestätigt zunächst (II. 208, 458 und 470) die Schwäche der diotischen Schwebungen gegenüber den monotischen trotz gleicher Empfindungsstärke der beiden interferierenden Töne. Dann bemerkt er (II. 320 und 471), dass die

21) Preyer, Wissenschaftliche Briefe von Gustav Theodor Fechner und W. Preyer. p. 163, (Brief Fechner's vom 4. Jan. 1883). 1890.

22) Stumpf, Tonpsychologie. Bd. I. 1883. Bd. II. 1890.

Schwebungen, wenigstens die schnelleren, meist erst einige Zeit nach dem Anschlagen der Gabeln wahrgenommen werden, und dass sie deshalb bei schwächerem Anschlag derselben leicht überhaupt unbemerkt bleiben. Interessant ist ferner die Beobachtung, dass die Schwebungen mit abnehmender Tonstärke bis zum Verschwinden der Töne immer deutlicher werden, wenn nicht sogar relativ stärker. Als Grenzen ihrer Schnelligkeit fand er (II. 470 f.) in der großen Oktave 16—20 Schwebungen p. S., in der kleinen 32—40, in der eingestrichenen ca. 50 und in der zweigestrichenen ca. 70, während die Schwebungen schon in der dreigestrichenen Oktave in allen Fällen undeutlich und schwer vernehmbar sein sollen, — also ein ganz beträchtlicher Unterschied gegenüber den II. 461 f. angegebenen Schnelligkeitsgrenzen bei monotischen Schwebungen. Von besonderer Wichtigkeit ist die II. 459 besprochene Erfahrung, dass bei einem Höhenunterschiede bezüglich des Hörens beider Ohren, wie er ja nach Fessel²³⁾ (1860) in abgeschwächtem Maße fast bei allen Menschen bestehen soll, die Zahl der Schwebungen zweier Gabeln, man mag dieselben vor die Ohren verteilen, wie man wolle, stets dieselbe bleibt wie beim monotischen Hören der betreffenden Töne. Hieraus folgt, dass beim diotischen Hören eines Tones trotz eines Höhenunterschiedes beider Ohren niemals Schwebungen gehört werden können, eine Folgerung, welche durch keine der bisherigen Beobachtungen (ausgenommen den obigen Thompson'schen Fall) negiert wird. Ja Stumpf hat bei einem an sich selbst erlebten Falle von Diplakusis (Höhenunterschied beider Ohren bei a^1 ca. $\frac{3}{4}$ Ton), obwohl er ganz besonders die Aufmerksamkeit darauf richtete, keine Spur von Schwebungen wahrnehmen können, wie er II. 460 f. berichtet. Auch bemerkt er (II. 208), dass dieselben bei der

23) Fessel, Über die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für Höhe und Tiefe der musikalischen Töne. Pogg. Ann. Bd. 111, p. 189. 1860.

bloßen Vorstellung der Töne in der Phantasie wegfallen (!). Gestützt auf diese Beobachtungen und die oben angeführte Mitteilung von Urbantschitsch, dass die Nachbilder schwebender Töne keine Schwebungen erkennen lassen, kommt Stumpf (II. 485) zu dem Schlusse, dass es sich bei den diotischen Schwebungen nicht um Interferenz oscillierender Nervenenerregungen handle, sondern dass dieselben durch Leitung jedes Tons von Ohr zu Ohr durch die Kopfknochen entstehen müssen.

Um diesen Schluss zu rechtfertigen, reichen aber meines Erachtens die mitgeteilten Erfahrungen nicht aus: auf die Schwäche der diotischen Schwebungen, bezüglich welcher dies schon unter Fechner betont wurde, lassen sich aller Wahrscheinlichkeit nach auch die meisten der weiter angegebenen Erscheinungen, insonderheit die engen Schnelligkeitsgrenzen derselben zurückzuführen; — ferner kann die Stütze, welche diese Annahme in den bei Diplakusis gemachten Beobachtungen findet, noch kaum eine genügende genannt werden; die meisten Fälle sind nämlich hierfür unverwertbar, sei es dass die Verstimmung zu bedeutend, oder die Hörfähigkeit beider Ohren zu verschieden, oder endlich die Empfindung des verstimmtten, kranken Ohres zu unrein ist, um die Erscheinungen noch deutlich hervortreten zu lassen; auch bestimmen diese ja den Ort der Interferenz höchstens insofern, als derselbe hiernach nicht centripetal von demjenigen, wo die Verstimmung erfolgt, liegen kann; — der von Urbantschitsch mitgeteilten Beobachtung endlich steht diejenige Preyer's gegenüber.

Ferner meint Stumpf, dass die durch die Kopfknochenleitung vermittelte Interferenz, wenn die beiderseitigen Tonreize qualitativ gleich und nicht zu schwach sind (II. 432), oder wenn sie bezüglich ihrer Qualität so wenig verschieden sind, dass sie nicht einmal monotisch als verschieden erkannt werden (II. 327), eine Verstärkung der Tonempfindung hervorrufen könne.

Dass bei sehr schwachen Tönen eine Verstärkung durch Interferenz nicht möglich sei, scheint mir aber der oben mitgeteilten Erfahrung, dass die Schwebungen ausklingender Töne erst mit diesen selbst verschwinden, zu widersprechen. Wie ferner die monotische Schwelle der qualitativen Unterscheidungsfähigkeit gleichzeitiger Töne dazu kommen soll, hier die Grenze für die Verstärkung durch Interferenz zu bestimmen, ist mir unverständlich; bei qualitativ noch so wenig verschiedenen Tönen müssen aus der letzteren doch immer Schwebungen hervorgehen.

Über den vorliegenden Gegenstand erfahren wir Weiteres durch verschiedene Untersuchungen von Schaefer. Zunächst konstatierte er¹⁴⁾ (1890), dass die Schwebungen diotisch noch bei einer größeren Intensitätsdifferenz der Primärtöne gehört werden können als monotisch, was er daraus erklärt, dass im letzteren Falle das Ohr durch den lauterer Ton physiologisch taub für den schwächeren werde. Interessant ist auch der Nachweis diotischer Schwebungen zwischen einem Differenztone einerseits und einem objektiven Tone andererseits. Brachte er nämlich zwei Gabeln von 2000 und 1500 Schw. vor das eine Ohr und eine Gabel von 512 Schw. vor das andere, so hörte er in letzterem die entsprechenden 12 Schwebungen p. S.

Eine neue Ortsbestimmung für die Interferenz lässt sich aber aus diesem letzteren Versuche nicht ableiten; denn der Kombinationston mag entstehen, wo er wolle, eine peripherische Interferenz bleibt immer auch möglich, zwar nicht durch Überleitung des Kombinationstones selbst, sondern durch eine solche der Primärtöne, die hier sogar im wesentlichen eine äußere sein könnte. Eine Reihe weiterer Versuche in dieser Arbeit betrifft vorwiegend Eigentümlichkeiten der Lokalisation diotischer Schwebungen, kann also bezüglich der Natur der letzteren höchstens durch Vermittelung jener etwas Neues erkennen

helfen. Diese Versuche werden deshalb besser an anderer Stelle behandelt.

In einer zweiten Arbeit, die ebenfalls besonders den diotischen Lokalisationserscheinungen gewidmet ist, bemerkt Schaefer²⁴⁾ (1890), dass bei größeren Intervallen der verteilten Gabeln die Schwebungen jederseits die Tonhöhe der dort befindlichen Gabel haben.

Ob diese Erscheinung als eine den diotischen Schwebungen eigentümliche anzusehen ist, kann, da hier ein bloß monotisches Hören jedes Tones kaum anzunehmen ist, nicht entschieden werden.

Aus einer anderen Arbeit desselben Autors²⁵⁾ (1891) können wir folgende hierher gehörige Bemerkungen herausheben: die diotischen Schwebungen, obwohl noch bei sehr geringer Intensität der Primärtöne hörbar, verschwinden doch eher als die Tonwahrnehmung überhaupt. Schaefer vermutet jedoch hierin noch besondere graduelle Unterschiede bei verschiedenen Tondistanzen. Bis zu diesem Punkte des Verschwindens der Schwebungen, meint er, funktioniere auch die Kopfknochenleitung, eine Behauptung, die er durch folgendes Experiment zu stützen sucht: der Ton einer ganz leise angeschlagenen Stimmgabel, welchen der in einiger Entfernung sitzende Beobachter nur hörte, sobald er einen entsprechenden Resonator an eines der Ohren brachte, wurde bei Verschluss des anderen verstärkt vernommen, während zugleich der Tonort sich ein wenig von dem offenen Ohre nach der Medianebene des Kopfes zu bewegte. Ein solches Wandern der Lokalisation ist aber nach anderen Beobachtungen nur möglich, wenn bei gleichzeitiger Reizung beider Gehörorgane eine Änderung im Intensitätsverhältnis

24) Schaefer, Zur interauralen Lokalisation diotischer Wahrnehmungen. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. Bd. 1, p. 300. 1890.

25) Schaefer, Ein Versuch über die intrakranielle Leitung leisester Töne von Ohr zu Ohr. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. Bd. 2, p. 111. 1891.

beider Erregungen eintritt. Dies vorausgesetzt muss also im vorliegenden Versuche auch in dem nicht direkt gereizten Ohre eine Erregung bestehen, welche durch dessen Verschluss infolge von Reflexion (nach Mach) verstärkt und über die Empfindungsschwelle gehoben wird. Die Erregung erfolgt also hier jedenfalls wie beim Weber'schen Versuche vom Kopfknochen aus.

Gegen diese Beweisführung ist, soweit sie nur die Kopfknochenleitung im allgemeinen betrifft, wohl kaum etwas einzuwenden, man müsste denn die Versuchsanordnung angreifen, oder zur Annahme von Täuschungen seine Zuflucht nehmen. Eine solche bezüglich der Lokalisation wäre auch vielleicht nicht ganz undenkbar, wenn sich die Verstärkung als eine monotische darstellen ließe, etwa entstanden durch ein mit der Verstopfung des einen Ohres gleichzeitiges stärkeres Andrücken des Resonators im anderen Ohre. Ein Wandern der Lokalisation wäre hierdurch vielleicht auch erklärbar, freilich kein solches vom Ohre nach der Medianebene zu. Ein schwerer wiegender Einwand ist aber der, dass der an das eine Ohr gebrachte Resonator seine Schwingungen leicht direkt auf den Kopfknochen übertragen konnte und so im Grunde nicht anders wirkte als eine auf den Kopf gesetzte Stimmgabel. Der viel weniger deutliche Ausfall des Versuches, wenn der Gabelton durch einen Gummischlauch zu dem einen Ohre geleitet wurde, kann die Berechtigung dieses Einwandes nur erhöhen*). Sei

*) Einem solchen Einwande sucht zwar Schaefer später (1895) durch den Hinweis darauf, dass die Schwingungen der Wände des Resonators wie die Berechnung lehre, durchaus verschieden von denen der eingeschlossenen Luftmasse seien, zu begegnen. Folgender Versuch entscheidet jedoch gegen Schaefer: Nach Verschluss beider Ohren hielt ich eine stark angeschlagene Gabel nahe vor eines derselben, während in einiger Entfernung eine zweite mit Resonator verbundene Gabel tönte, die gegen die erste wenig verstimmt war. Die Schwebungen beider konnte ich nur deutlich hören, wenn ich einen der zweiten Gabel entsprechenden Resonator mit einem Ansatzstücke gegen den Kopf drückte.

nun aber auch die Beweiskraft dieses Versuches für die Kopfknochenleitung im allgemeinen zugestanden, ob dieselbe für den vorliegenden Fall ausreicht, ist doch noch eine andere Frage; denn bei den Schwebungen entbehrt die übergeleitete Erregung der bedeutenden Verstärkung, welche sie in diesem Versuche durch das Verschließen des Ohres erfährt. Dass sie trotzdem und sogar noch bei geringerer Stärke der Töne, wenn auch nur zur Bildung von Schwebungen, genüge, ist daher auf diese Art nicht zu beweisen. Es muss übrigens noch bemerkt werden, dass die Beobachtung Schaefer's, dass die Schwebungen eher als die Tonwahrnehmung überhaupt verschwinden, im Widerspruch steht mit der betreffenden Erfahrung Stumpf's (pag. 22). Nach jener Schaefer's könnte natürlich von einer Konstanz des Stärkeverhältnisses der zur Interferenz gelangenden Erregungen nicht die Rede sein; vielmehr wäre die Erscheinung der Deutlichkeitsabnahme der Schwebungen bei Stärkeverminderung der Primärtöne kaum anders erklärbar als durch einen ständigen Intensitätsverlust der schwächeren Erregung, mag sich derselbe nun bei der Übertragung der letzteren auf die Kopfknochen oder an anderer Stelle einführen.

Eines Ausschlusses der Kopfknochenleitung suchten Cross und Goodwin²⁶⁾ (1891) sich dadurch zu versichern, dass sie zwei Gabeln, welche, mit ihren Stielen zwischen die Zähne gepresst, nicht mehr gehört wurden, an die Ohren verteilten und dort auf Wachspfröpfe in denselben setzten. Der Wachsverschluss soll die merkwürdige Eigenschaft besitzen, bei sehr schwachen Tönen nur die Einwirkung auf das Trommelfell der gleichen Seite zu verstärken, — was mir offen gestanden nicht

26) Cross and Goodwin, Some considerations regarding Helmholtz's theory of consonance. Proceedings of the American Academy. Vol. 27, p. 1. 1891.

recht einleuchtet. — Da trotz dieser Vorsichtsmaßregeln noch die Schwebungen richtig vernommen wurden, so halten diese Autoren eine andere Entstehungsweise derselben als durch centrale Interferenz, die ihnen zudem schon durch die von Thompson (1881) mitgeteilten Beobachtungen ziemlich sicher gestellt erscheint, für ausgeschlossen. Ferner suchen sie auch das Fehlen der Differenztöne unter diesen Reizbedingungen, nachdem sie zuvor festgestellt haben, dass man dieselben, sowohl wenn man beide Gabeln auf den Kopf setzt, als auch wenn man die eine von ihnen vor ein Ohr hält, sehr deutlich hört, als einen Beweis gegen die Existenz der Kopfknochenleitung von Ohr zu Ohr zu verwerten.

Abgesehen aber davon, dass es eine unbewiesene Voraussetzung ist, dass die kranielle Zuleitung eines Tones zu den Ohren am besten von den Zähnen aus erfolge, braucht ja der von Ohr zu Ohr geleitete Ton, um Schwebungen des anderen zu veranlassen, für sich gar nicht wahrnehmbar zu sein. Bezüglich des zweiten Beweises aber behält der schon oben (pag. 18) gegen Thompson erhobene Einwand seine Gültigkeit.

Eine Reihe eigentümlicher Bemerkungen macht Scripture¹⁵⁾ (1892). Er hält die diotischen Schwebungen, deren cerebrale Entstehung ihm unzweifelhaft ist, für deutlicher als die monotischen. An eine Überleitung der Töne durch die Luft sei bei verteilten Gabeln deshalb nicht zu denken, weil die Töne, selbst wenn man die Gabeln ziemlich weit von einer Seite aus nach vorn führt, doch im gegenüberliegenden Ohre nicht gehört werden, — eine Beweisführung, die ich schon mehrfach als unhaltbar gekennzeichnet habe. — Den Ausschluss der Kopfknochenleitung hält er ferner schon dadurch für erwiesen, dass der Ton einer vor einem Ohre befindlichen Gabel bei Verschluss des anderen nicht in letzterem gehört wird, wie dies doch im Weber'schen Versuche beim Aufsetzen der Gabeln auf den Kopf statthabe.

Die Bedeutung dieses Unterschiedes der Bedingungen in beiden Versuchen für denjenigen ihrer Resultate ist dem Autor also völlig entgangen.

Die Unmöglichkeit einer Überleitung der Töne durch die Eustachischen Röhren und der getrennte Verlauf beider Hörnerven bis zum Gehirn beschließen für ihn die Reihe der Stützen seiner obigen Annahme einer Interferenz im Centralorgane. Differenztöne konnte übrigens auch Scripture bei verteilten Gabeln, z. B. von 396 und 528 Schw., nicht wahrnehmen.

Schaefer²⁷⁾ (1893) verwirft in einer kurzen Notiz den Scripture'schen Gegenbeweis gegen die Kopfknochenleitung und bestätigt nochmals das Resultat seines zu deren Nachweis unternommenen Versuches, wohl auch für eine bloß vor das eine Ohr gehaltene Gabel.

Das zweite der obigen Bedenken kommt durch diese Änderung in Wegfall, während es denkbar bleibt, dass durch das Zudrücken des einen Ohres etwa eine leichte Annäherung des Kopfes und anderen Ohres an die Schallquelle erfolgt sei. Aber dieser Einwurf ist, wie schon oben bemerkt wurde, ziemlich mangelhaft fundiert, da er eine Beobachtungstäuschung voraussetzt. Hinsichtlich der Grenzen der Beweiskraft dieses Versuches gilt natürlich das oben Gesagte.

Scripture²⁸⁾ (1893) kritisiert in Erwiderung auf die vorige Notiz den Schaefer'schen Versuch in seiner ersten Form und behauptet, bei der zweiten eben keine Verstärkung des Tones in dem einen Ohre durch Verschluss des anderen hören zu können. — Ein interessantes Seitenstück zu den Beobachtungen

27) Schaefer, Ist eine cerebrale Entstehung von Schwebungen möglich? Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. Bd. 4, p. 348. 1893.

28) Scripture, Ist eine cerebrale Entstehung von Schwebungen möglich? Philos. Stud. Bd. 8, p. 638. 1893.

von Schaefer und Scripture bildet übrigens die von Urbantschitsch²⁹⁾ (1893) citierte Erfahrung einiger Ohrenärzte. Diese konstatierten nämlich unter ähnlichen Bedingungen wie jene eine Herabsetzung des Gehörs auf einem Ohre bei Verschluss des anderen.

Verzichten wir vorläufig auf eine Auflösung dieses Chaos von Beobachtungen, das gewiss nur der ungenügenden Bestimmtheit der Versuchsbedingungen zu verdanken ist, so ist uns doch in der von Schaefer bei diesem Versuche beobachteten Lokalisationsänderung ein nicht unwichtiger Anhaltspunkt für weitere Folgerungen gegeben. Diese besondere interaurale Lokalisation, welche nach den sonstigen Erfahrungen nur erscheint, sobald die Wahrnehmung eines Schalles diotisch erfolgt, beweist sonach, dass in allen Fällen ihres Auftretens in obigem Versuche sogar Erregungen durch die Kopfknochen geleitet werden, welche für das andere Ohr, freilich erst unter Verschluss desselben, hörbar sind. Aber die Erregung in demjenigen Ohre, vor welchem sich die Schallquelle befindet, muss doch immer stärker sein als in dem anderen; deshalb betont Scripture, — und ich kann ihm, die Existenz einer Reizschwelle und zwar für jedes Ohr besonders, oder einen ständigen Intensitätsabzug der übergeleiteten Erregung voraussetzend, nur beistimmen, — dass der Ton einer Gabel, welcher schon für das nächstliegende Ohr nur eben noch wahrnehmbar ist, für das gegenüberliegende jedenfalls, selbst wenn es verschlossen ist, unhörbar sein müsse, dass mithin der Schaefer'sche Versuch bei Anwendung eines eben merklichen Reizes, wie der Versuch es ja auch bestätigt, keinesfalls gelingen könne. Die Beweiskraft der anderen Beobachtung Schaefer's, das Verhalten der Empfindung nach ihrer intensiven Seite betreffend, wird, falls sie nicht, wie Stumpf²²⁾ (II.

29) Urbantschitsch, Über Wechselbeziehungen zwischen beiden Gehörorganen. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 35, p. 1. 1893.

430 f.) von der (später zu behandelnden) Verstärkung qualitativ gleicher Eindrücke beider Ohren behauptet, auf Täuschung beruht, auch nicht sehr viel weiter reichen als die der ersten, wenn auch durchaus nicht behauptet werden soll, dass subliminale Erregungen des einen Ohres ohne Einfluss auf die Intensität der Empfindungen des anderen sind. Eine Verstärkung ohne gleichzeitige Lokalisationswanderung ist ja aber in der That auch nicht beobachtet worden. Der negative Ausfall des Schaefer'schen Versuches bei leisen Tönen beweist nun aber nicht, wie Scripture meint, dass in diesem Falle überhaupt keine Erregungen durch die Kopfknochen von Ohr zu Ohr gelangen, sondern höchstens, dass die eventuell auf diesem Wege übergeleiteten Erregungen zu schwach sind, um sich durch ihren Einfluss auf die Lokalisation oder Intensität der Tonempfindung zu verraten. Sie können deshalb aber doch selbst ohne die Verstärkung durch den Ohrverschluss noch stark genug sein, um merkliche Intensitätsschwankungen eines zu demselben Ohre direkt geleiteten qualitativ und intensiv nicht zu differenten Tones zu veranlassen.

Wundt gab Ostern 1893, die Mängel der bisher von Vertretern beider Parteien versuchten Beweise erkennend, die Anregung zu der vorliegenden Arbeit. In demselben Sinne lehnt er auch³⁰⁾ (1893) mit der Bemerkung, dass die bisherigen Versuche »noch der Wiederholung mit sorgfältiger Variierung der Bedingungen« bedürfen, eine Entscheidung der Frage ab, wenn er auch, wie dies besonders aus einer Spezialarbeit³¹⁾ (1893) hervorgeht, mehr zu der Annahme einer cerebralen Entstehung der Schwebungen neigt. Eine Bestätigung derselben und damit

30) Wundt, *Physiol. Psych.* 4. Aufl. Bd. 1, p. 478 f. 1893.

31) Wundt, *Ist der Hörnerv direkt durch Tonschwingungen erregbar?* *Philos. Stud.* Bd. 8, p. 641. 1893.

der oscillatorischen Art der Erregungsvorgänge im Nerven erblickt er unter anderem in der oben (pag. 19) citierten Thompson'schen Beobachtung von Schwebungen zwischen einem objektiven Tone und einer abklingenden akustischen Empfindung, — was freilich die rein nervöse Natur der letzteren zur Voraussetzung hat; aber Preyer¹⁹⁾ will ja auch zwischen Nachbildern Schwebungen beobachtet haben. — Auch die bekannten Beobachtungen Ewald's an labyrinthlosen Tauben scheinen Wundt für die oscillatorische Beschaffenheit der akustischen Nerven-erregungen zu sprechen. Bei geeigneten Tonstärken und geringem Schwingungsunterschiede der beiden Primärtöne hält er übrigens eine periodisch eintretende völlige Aufhebung der Schwingungen für möglich, — eine Meinung, die freilich durch die bisherigen Erfahrungen nicht unterstützt wird. — Den gänzlichen Ausschluss sowohl der Luft- wie der Kopfknochenleitung eines Tones von Ohr zu Ohr sieht er dann für gesichert an, wenn derselbe bei Verschluss desjenigen Ohres, vor welchem sich die Gabel befindet, nicht im anderen gehört wird.

Aber sowohl was die Wege, als auch was die Stärke der Überleitung betrifft, scheinen mir die Bedingungen für diese Entstehung der Schwebungen die in jenem Versuche vorausgesetzten sehr wohl überschreiten zu können (conf. Fechner²¹⁾).

Bloch³²⁾ (1893) verband zwei in entgegengesetzten Phasen schwingende Telephone je mit einem Ohre, fand aber ebenso wie Seebeck und Mach hierbei keine Auslöschung des betreffenden Tones. Eine Vermischung beider Tonwellenzüge, sagt er, müsse freilich auch hier eintreten, was ja die Entstehung von Schwebungen bei nicht ganz unisonen Tönen beweise. »Aber die Auslöschung unterbleibt, weil, bevor sie möglich wird, der

32) Bloch, Das binaurale Hören. Zeitschr. f. Ohrenheilk. Bd. 24, p. 25. 1893.

Ton auf jeder Seite schon den Hörnerven erregt hat. Die gegenseitige Beeinflussung der in entgegengesetzten Wellenformen den Kopf und seine lufthaltigen Räume durchflutenden Töne macht sich aber gleichwohl für die Empfindung bemerklich«. — Die peripherische Interferenz scheint, soviel diesem Passus zu entnehmen ist, dem Autor also festzustehen.

Ewald³³⁾ wandte folgende Versuchsanordnung an, um einen sicheren Ausschluss von Luft- und Knochenleitung zu erzielen. Die Töne zweier in besonderen Zimmern aufgestellter Gabeln wurden dem Beobachter durch Vermittelung von vier Telephonen zugeleitet. An den Telephonen des Beobachters befand sich über der Membran ein kurzes Hörrohr, auf dessen Öffnung ein Gummischlauch mit Ohrstück geschoben war. Letzteres ließ sich durch eine Schraube derartig verschließen, dass durch dasselbe kein Ton mehr vom Telephon gehört werden konnte. Die Töne der Gabeln (ca. 130 Schw.), die in 9 m Entfernung von den betreffenden Aufnahmetelephonen aufgestellt und elektrisch angeregt wurden, konnten durch Regulierung der Stromstärke und der Entfernung der Elektromagnete von den Gabelzinken so leise gemacht werden, dass nichts zu hören war, wenn die Ohrstücke nur vor die Ohren gehalten, gegen den Schädel gedrückt oder zwischen die Zähne genommen wurden. Nur wenn dieselben ohne ihre Verschlusschrauben in die Gehörgänge geschoben wurden, waren die betreffenden Töne zu hören, und zwar zeigten dieselben einzeln gehört nicht die geringsten Intensitätsschwankungen, während doch beim gleichzeitigen Hören beider die Schwebungen deutlich hervortraten. Ewald glaubt, dass hiernach die centrale Entstehung der Schwebungen und damit die oscillatorische Form der Erregungen des Akustikus

33) Ewald, Die centrale Entstehung von Schwebungen zweier monotisch gehörter Töne. Pflüg. Arch. Bd. 57, p. 80. 1894.

nicht mehr bezweifelt werden könne. Bei nicht einfachen Sinusschwingungen fand er die Schwebungen zwar auch deutlich, aber doch nicht so intensiv wie bei reinen Tönen.

Dass bei dieser Versuchsanordnung die Luftüberleitung der Töne ausgeschlossen ist, auch eine Übertragung derselben von den Ohrstücken direkt auf den Kopfknochen das Zustandekommen der Schwebungen nicht vermitteln konnte, wird niemand bezweifeln; was jedoch die Beweiskraft dieses Versuches in Hinsicht der Nichtexistenz einer durch die schwingenden Teile des Ohres vermittelten Kopfknochenleitung oder auch nur ihrer Bedeutungslosigkeit für die diotischen Schwebungen betrifft, so könnte ich nur das früher Gesagte wiederholen.

Weiter ist eine Untersuchung von Bernstein³⁴⁾ (1894) zu erwähnen. Für den Schwebungsversuch benutzte er eine der Thompson'schen ähnliche Einrichtung: die Töne zweier sehr wenig gegen einander verstimmter Federn, die elektrisch angeregt wurden und zugleich Stromunterbrecher waren, wurden nur gehört, wenn man die Schlauchenden in die Gehörgänge führte. Die Schwebungen traten auch bei geringster Intensität der zugeleiteten Töne mit derselben Deutlichkeit wie bei lauten Tönen hervor. Letzteres erklärt Bernstein daraus, dass die leisesten Töne ja wohl um denselben Bruchteil ihrer Stärke durch Schwebung geschwächt und verstärkt werden, wie die lauten.

Da Stumpf, der seine Aufmerksamkeit besonders auf diese Erscheinung gerichtet hatte, sogar die Beobachtung machte, dass die Schwebungen um so deutlicher hervortreten, je leiser die Töne werden, so muss sich die Bernstein'sche Erklärung

34) Bernstein, Über die spezifische Energie des Hörnerven, die Wahrnehmung binauraler (diotischer) Schwebungen u. s. w. Pflüg. Arch. Bd. 57, p. 475. 1894.

vielleicht noch eine kleine Modifikation gefallen lassen. Doch hängt dies davon ab, ob sich die Deutlichkeitsänderung der Schwebungen wirklich auf eine Änderung des Intensitätsverhältnisses ihrer Grenzamplituden, bezüglich schon desjenigen ihrer Komponenten gründet, oder nur auf eine Erhöhung der dem entsprechenden Unterschiede der maximal-distanten Empfindungsstärken zugewendeten Aufmerksamkeit zurückzuführen ist, die von den leiseren Tönen weniger in Anspruch genommen wird (conf. Stumpf²²) II. 469). Aber es fehlt ja auch die umgekehrte Beobachtung nicht, dass die Schwebungen bei Intensitätsabnahme der Primärtöne schwächer werden und eher verschwinden als diese (Schaefer).

Unter Benutzung der obigen Einrichtung versuchte Bernstein auch, durch ein dem Mach'schen ähnliches Experiment die Existenz der Kopfknochenleitung nachzuweisen: jeder der beiden Beobachter führt einen der beiden Hörschläuche in ein Ohr hinein, und beide beißen dann in ein kurzes Holzbrett, welches an beiden Enden einen Siegellackabdruck ihrer Gebisse trägt. Diese letztere Einrichtung zunächst traf Bernstein als die passendere gegenüber der Mach'schen deshalb, weil er die Schallleitung von den Ohren zu den Zähnen für eine besonders gute hielt (wie dies ja von der umgekehrten bekannt ist) und so keine zu große Intensitätsdifferenz zwischen der direkten und der indirekten Erregung zu erhalten hoffte. Eine gleichzeitige direkte Erregung aber wandte er an, weil sich das Vorhandensein der indirekten, wenn sie auch an sich unter die Empfindungsschwelle fiel, doch vielleicht noch an Schwebungen oder Intensitätsschwankungen der wahrnehmbaren direkten Erregung nachweisen lassen konnte. Denn seien a und b die Intensitätswerte der direkten und indirekten Erregung, so müssen nur etwa die Intensitäten $a + b$ und $a - b$ (als Maximal- und Minimal-Amplituden der Schwebungen) ebenmerklich verschieden

sein, damit der Einfluss der indirekten Erregung noch erkannt werde; dazu braucht aber keinesfalls b , sondern nur $a + b$ den Schwellenwert zu übersteigen. Aber trotz dieser raffinierten Einrichtung hatte der Versuch doch nur ein negatives Resultat. — Hieraus darf natürlich keinesfalls geschlossen werden, dass $a + b = a - b$ oder $b = 0$ gewesen sei, sondern nur, dass $a + b$ und $a - b$ nicht eben merklich verschieden waren. Die Bedingungen dieses Versuches sind ja aber auch bedeutend ungünstiger für die Überleitung als diejenigen bei diotischen Schwebungen, weshalb bei letzteren $a + b$ und $a - b$ doch noch merklich verschieden sein können.

Kürzlich hat auch wieder Schaefer³⁵⁾ (1895) seine schon früher vertretene Ansicht von der Entstehung der diotischen Schwebungen zunächst direkt durch ein Experiment zu stützen versucht, welches dem letzten Bernstein'schen ähnlich ist: er verband eines seiner Ohren durch ein passend gebogenes Hartgummistück mit dem einen Ohre einer zweiten Person, vor deren anderes Ohr eine tönende Stimmgabel gehalten wurde, und vernahm so ganz leise den Ton der letzteren, welchen er bei aufgehobener Berührung mit dem Hartgummistücke durch die Luftleitung nicht hören konnte. — Die Bedingungen für die Wahrnehmung des Tones sind aber bis auf den etwas größeren Leitungswiderstand in diesem Experimente dieselben wie in dem oben] (pag. 25) beschriebenen Versuche desselben Autors. — Wenn nun hiernach, meint Schaefer, die Kopfknochenleitung einen ziemlich schwachen Ton schon so stark überträgt, dass er im anderen Ohre selbständig wahrnehmbar ist, so werde sie auch eine wenig schwächere Erregung noch in einer Stärke

35) Schaefer, Beweise gegen Wundt's Theorie von der Interferenz akustischer Erregungen im Centralorgane. Pflüg. Arch. Bd. 61, p. 544. 1895.

zum anderen Ohr gelangen lassen, welche genügt, um dort einen erkennbaren Einfluss auf die Intensität eines direkt zugeleiteten gleichen Tones auszuüben.

Schaefer vergisst aber hierbei, dass die übergeleitete Erregung in den obigen Versuchen durchaus nicht selbständig, sondern erst nach beträchtlicher Verstärkung durch den Verschluss des Ohres die Reizschwelle überschreitet. Da nun eine solche Verstärkung in den Interferenzversuchen fehlt, so ist die wichtige Stütze hinfällig, welche Schaefer seinem Schlusse in der Annahme verlieh, dass die Stärkedifferenz der betreffenden Erregungen in beiden Versuchen nur eine unbedeutende sei. Auch auf der anderen Seite geht Schaefer wohl etwas zu weit, wenn er nicht nur in der geringen Deutlichkeit der Differenz- und Stoßtöne beim diotischen Hören, sondern sogar in dem bekannten Weber'schen Taschenuhrenversuche einen strikten Beweis gegen die centrale Interferenz der beiderseitigen Erregungen erblickt. Denn ersteres gestattet höchstens den Schluss, dass es bei der Interferenz, wo sie auch stattfinden mag, an den zur Entstehung solcher Wahrnehmungen nötigen Bedingungen fehle; dass außerdem diese mit der Interferenz überhaupt zusammen fallen, bedarf erst noch des Nachweises. Sollte aber der lokale Unterschied zwischen den Erregungen beider Ohren, welcher in dem letzteren Versuche ja wohl allein das Auseinanderhalten der beiderseitigen Taktreihen ermöglicht, hierfür entscheidend sein, so müsste zuvor feststehen, dass eine cerebrale Interferenz, und nur eine solche (keine bloße Mischung) denselben beseitigen würde.

Wir wollen nun noch einmal kurz die Reihe der auf die Interferenzerscheinungen bezüglichen Erfahrungen überblicken. Was zunächst die oben mitgeteilten Beobachtungen betrifft, so fand sich die Frequenz der Schwebungen stets (selbst bei Höhenunterschied des Hörens in beiden Ohren) beim diotischen

Hören als dieselbe wie beim monotischen, dagegen die Frequenz- und Tonhöhengrenzen sowie die Stärke derselben bei ersterem, die maximale Intensitätsdifferenz der Primärtöne, bei welcher noch Schwebungen hörbar sind, beim monotischen Hören geringer. Man pflegt die diotischen Schwebungen meist erst einige Zeit nach der Zuleitung der Primärtöne zu bemerken, sie werden dann wohl mit dem Ausklingen der letzteren immer deutlicher, scheinen überhaupt bei leisen Tönen stärker als bei lauten. (Auch wo keine Schwebungen vernommen werden, wie bei größeren Intervallen oder bei Diplakusis bleibt doch die Dissonanz erhalten.) Diotische Schwebungen treten, wenn auch mit geringerer Deutlichkeit, ebenso bei nicht einfachen Sinusschwingungen auf. Auch zwischen einem objektiven Tone und einem Differenztone oder der abklingenden akustischen Empfindung eines anderen Tones sind diotische Schwebungen beobachtet worden; ob solche auch zwischen abklingenden akustischen Empfindungen oder Nachbildern zweier schwebender Töne stattfinden, ist jedoch strittig.

Die auffallende Ähnlichkeit der diotischen Interferenzerscheinungen mit den monotischen legt nun den Analogieschluss auf dieselbe (peripherische) Entstehung beider nahe; doch ist eine endgültige Bestätigung desselben im wesentlichen an die Frage der Kopfknochenleitung geknüpft. Obwohl nun diese für nicht zu leise Töne durch die Schaefer'schen Versuche nachgewiesen ist, so gelang es doch nicht, die Existenz und fundamentale Bedeutung derselben für den ganzen Umfang der betreffenden Erscheinungen direkt durch besondere Versuche zu erweisen, teils weil deren Beweiskraft nicht ausreichte, teils weil die Versuchsbedingungen zu ungünstige und so die entscheidenden Empfindungen zu undeutliche waren. Aber auch sie zu widerlegen, stellte sich als unmöglich heraus, teils weil sich ein völliger Ausschluss der Knochenleitung nicht mit

Sicherheit erzielen ließ, teils weil das Nichtauftreten einer Empfindung kein Beweis ist für die Nichtexistenz einer Erregung. Dass ferner der Mangel oder die Schwäche diotischer Differenz-töne nicht für bzw. gegen die cerebrale Interferenz zu verwerten ist, wurde oben nachgewiesen. Dass endlich ein centraler Ort der Interferenz, selbst wenn er besteht, sich schwerlich wird direkt nachweisen lassen, liegt wohl in der Natur der Sache*). Eine definitive Erklärung der vorliegenden Erscheinungen ist also bisher nicht gewonnen worden und wohl auch schwerlich als eine apodiktisch gewisse zu erreichen. Diese Untersuchung kann also nur die Aufgabe haben, die Wahrscheinlichkeit des obigen Analogieschlusses einer positiven oder negativen Gewissheit möglichst anzunähern. Sie wird dabei zunächst an die Besonderheiten der diotischen Interferenzerscheinungen und ihre Abweichungen von den monotischen anknüpfen müssen. Die letzteren bestehen nun nach Obigem hauptsächlich in der geringeren Stärke, in welcher zugleich einige andere Unterschiede, z. B. Frequenz- und Tonhöhengrenzen der Schwebungen betreffende, ihre Erklärung finden dürften. Daraus, dass gleich starke zu beiden Ohren geleitete Töne bei allen Qualitätsdistanzen weit schwächere Schwebungen geben als bei monotischer Zuleitung, und besonders daraus, dass

*) Die schon von Munk³⁶⁾ (1881) und anderen nach Versuchen erschlossene Kreuzung der Hörnerven ist zwar neuerdings (als eine partielle) auch anatomisch nachgewiesen worden (vergl. Held³⁷⁾ 1893). Doch dürfte dieselbe kaum zur Erklärung der Interferenzerscheinungen herangezogen werden können, da eine Kommunikation der beiderseitigen Akustikusbahnen, wie sie hierfür verlangt werden müsste, in derselben schwerlich gegeben ist.

36) Munk, Über die Hörsphären der Großhirnrinde. Monats-Ber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1881, p. 470.

37) Held, Die centrale Gehörsleitung. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1893, H. 3 u. 4.

sie sich bei gleicher Höhe und entgegengesetzten Phasen nicht auslöschen, kann schon hier geschlossen werden, dass die beiderseitigen Erregungen nicht in ihrer Totalstärke zu einem Interferenzpunkte gelangen, sondern sich verzweigen, um dann entweder nur zu einem Teile an einem, oder in Teilen von verschiedener Stärke an verschiedenen Orten zu interferieren. Aus den bei Diplakusis gemachten Erfahrungen folgt ferner, dass Erregungen einer Seite nicht, soweit sie erst mit solchen der anderen interferieren sollen, einer Qualitätsmodifikation unterliegen können, welche letztere demnach nur (dem vorigen „aut—aut“ entsprechend) entweder solche Erregungen, die unvermischt geblieben, oder solche, die aus einer Interferenz hervorgegangen sind, betreffen kann.

Für weitere Folgerungen wird es sich aber nötig machen, auch die übrigen Eigentümlichkeiten des diotischen Hörens in den Kreis der Betrachtung zu ziehen. Denn nur so kann es gelingen, ein hinreichend genaues Bild von dem Schauplatze der fraglichen Interferenzvorgänge zu entwerfen, welches nicht mehr in verschiedene Rahmen passt.

2. Ständige Modifikationen der Intensität.

Deren giebt es zwei Arten, nämlich solche, die in einer Verstärkung, und solche, die in einer Schwächung der Empfindung ihren Ausdruck finden. Über die Art der Beziehung, welche diesen Erscheinungen zu Grunde liegt, lässt sich vorläufig aber nichts aussagen; nicht einmal der Zusammenhang der Modifikationen positiver Richtung mit den negativ gerichteten kann schon als ausgemacht gelten, weshalb wir diese beiden Erscheinungsgruppen auch hier getrennt behandeln wollen.

a. Verstärkung.

Beobachtungen, welche auf eine Erhöhung der Intensität der Gesamt- oder der Teilempfindungen beim diotischen Hören hinzudeuten scheinen, sind schon ziemlich früh gemacht worden, ohne dass deren große theoretische Bedeutung erkannt worden ist.

So ist wohl eine der ersten Beobachtungen über eine Verstärkung beim diotischen Hören von Seebeck²⁾ (1846) gemacht worden. Er fand bei seinem schon oben beschriebenen Sirenenversuche, sowohl wenn die beiden Töne die Ohren in gleichen, als auch wenn sie dieselben in entgegengesetzten Phasen trafen, die Empfindungsintensität größer als die den einzelnen, monotischen Erregungen entsprechende. Doch war der Zuwachs in jenen beiden Fällen nicht gleich groß, sondern bei gleichen Phasen bedeutender als bei entgegengesetzten.

Hier ist nun zwar eine Luftüberleitung jedes Tones von Ohr zu Ohr vorhanden, aber durch dieselbe wird ja doch nichts anderes als eine Interferenz ermöglicht, wie sie noch außerdem peripher durch Kopfknochenleitung oder central zu stande kommen muss. Eine aus Interferenz hervorgehende Intensitätsänderung, für deren Maximum die Stärke der übergeleiteten Erregung bestimmend ist, kann aber niemals eine ständige sein, sondern ist eben in Abhängigkeit von der Phasendifferenz der interferierenden Töne bald größer, bald kleiner, bald positiv, bald negativ. Dies gilt für jede Art der Interferenz. Bei gleichen Phasen der zugeleiteten Töne ließe sich also wohl ein gewisses Maß der Verstärkung der diotischen Empfindung beider gegenüber der monotischen eines derselben aus einer Interferenz dieser Töne erklären, aber bei entgegengesetzten Phasen der letzteren ist eine Erklärung der Verstärkung auf diesem Wege geradezu unmöglich, sollte man doch hier im Gegenteil eine der Verstärkung bei gleichen Phasen völlig gleichwertige

Schwächung erwarten. Aus diesem Grunde kann auch von einer Täuschung bei obigem Versuche gar nicht die Rede sein. Es ist hier also eine ständige dem diotischen Hören eigentümliche Verstärkung zu konstatieren, welche mit den oben behandelten Interferenzerscheinungen durchaus nichts zu thun hat, sondern unabhängig neben ihr besteht. Diese wichtige Konsequenz hat man, wie gesagt, aus dem Seebeck'schen Versuche bisher nicht gezogen. Man hat zwar oft die Verstärkung beim diotischen Hören untersucht, ja sogar gemessen; aber was hat dies alles für einen Wert, so lange man nicht weiß, wieviel von der Verstärkung, ja ob sie nicht ganz auf Rechnung der Interferenz zu setzen ist, aus welcher bei gleichen Phasen der interferierenden Töne doch auch eine Verstärkung folgt!

Dove ³⁸⁾ (1857) beobachtete bei einem Versuche, wo zwei unisone gleich stark tönende Gabeln vor die Ohren verteilt waren, und eine derselben um ihre Axe gedreht wurde, neben der Erscheinung, dass der Ton abwechselnd rechts und links gehört wurde, auch ein Anschwellen und Abnehmen des letzteren.

Verwertbar ist dieser Versuch für uns kaum, da seine Bedingungen nicht einfach genug sind; denn nicht nur die Differenz der Intensitäten beider Töne, sondern auch diejenige ihrer Phasen wird durch die Rotation der einen Gabel periodisch verändert. Außerdem wissen wir ja nichts von der anfänglichen Phasendifferenz bei gleicher Stellung beider Gabeln. Um von dieser und anderen Unregelmäßigkeiten unabhängig zu sein, sollte man überhaupt da, wo es sich um Leitung gleicher Töne zu beiden Ohren handelt, immer nur eine Gabel verwenden.

38) Dove, Eine akustische Interferenz. Pogg. Ann. Bd. 101, p. 492. 1857.

In dieser Weise verfuhr auch Scott Alison ³⁹⁾ (1859). Er ließ mittelst eines »Differential-Stethophons« den Ton einer Schallquelle auf getrennten Wegen in beide Ohren gelangen. Die Intensitätsdifferenz beider Reize variierte er meist durch Entfernen der Mündung eines der Zweige des Apparates von der Schallquelle. Der Schall wurde nun immer nur in demjenigen Ohre gehört, welches ihn in größerer Intensität empfing, jedoch wurden Intensitätsänderungen des anderen Reizes empfunden, aber als ebensolche des ersteren.

Diese können hier zwar fast rein als eine Folge jener angesehen werden. Aber über die Beziehungen beider Erregungen, welche dieser Erscheinung zu Grunde liegen, erfahren wir doch aus diesem Versuche nichts. Denn sowohl aus einer Interferenz würde infolge der Phasengleichheit beider Erregungen bei Intensitätsänderung der einen eine solche der anderen oder der Gesamterregung gefolgert werden müssen, als auch sind noch andere Beziehungen beider Erregungen denkbar, welche unter den gleichen Versuchsumständen eine Intensitätsänderung der Totalempfindung erwarten ließen.

Auch Fechner ⁷⁾ (1860) konstatierte einen beträchtlichen Intensitätsunterschied der Empfindung beim diotischen und monotischen Hören. Sowohl wenn er die eine von zwei vor die Ohren verteilten Gabeln ungefähr gleicher Höhe entfernte, als auch wenn er, diotisch auf den Ton einer vor ihm stehenden Gabel horchend, plötzlich ein Ohr verstopfte, fand er die Empfindung des Tones auffallend geschwächt. Verteilte er zwei gleiche Gabeln verschiedener Intensität vor die Ohren, und ließ er dann die leisere vor dem einen rotieren oder besser hin- und

³⁹⁾ Scott Alison, On the differential stethophone, and some new Phenomena observed by it. Proceedings of the Royal Society of London. Vol. 9, p. 196. 1859.

herschwingen, so hatte er deutlich den Eindruck monotischer Stöße auf der Seite der ruhenden Gabel. Auch wenn die gedrehte oder geschwungene Gabel sich dem Ohre näher befand als die andere, oder wenn bei gleicher Entfernung beider Gabeln von den Ohren in nicht zu langsamem Wechsel bald die eine, bald die andere die Rolle der bewegten übernahm, wo dann ebenfalls nur ein intermittierender oder periodisch anschwellender und abnehmender Ton und zwar auf der Seite der bewegten Gabel gehört wurde, bewirkte die Entfernung der ruhenden Gabel sofort eine Schwächung des Totaleindrucks. Fechner glaubt hieraus schließen zu müssen, dass sich die Töne beider Ohren zu einem gemeinsamen Eindrucke kombinieren, und meint, dass man wenigstens keinen Grund habe, eine Fortpflanzung jedes Tones durch die Kopfknochen von Ohr zu Ohr, wie sie bei den binauralen Schwebungen vorliege, auch hierbei als wesentlich anzunehmen.

Eine klare Scheidung der Ursachen beider Erscheinungen ist jedoch auf Grund der Fechner'schen Versuche kaum möglich. Denn die Bedingungen, unter welchen er die Verstärkung in seinen Versuchen beobachtet hat, könnten ja genau dieselben sein, wie diejenigen, unter welchen die Intensitätsmaxima der Schwebungen auftreten; vor allem könnte Phasengleichheit der zugeleiteten Töne bestehen, welche nur in Fechner's Versuchen dauernd, bei den Schwebungen dagegen momentan aber rhythmisch wiederkehrend wäre. Da nun freilich bei Verwendung zweier Gabeln die Phasendifferenz beider Töne von Versuch zu Versuch wahrscheinlich immer eine andere ist, eine Verstärkung aber nicht nur ausnahmsweise, sondern in jedem Falle beobachtet wurde, so ließe sich auch hieraus allenfalls, wenn auch nicht gerade sehr elegant, auf eine ständige, nicht nur bei Phasengleichheit mögliche Verstärkung schließen.

Der von Mach^{s)} 1864 angestellte und schon oben (pag. 15) eingehend beschriebene Versuch mit dem Interferenzröhrensystem hat ähnlich dem Seebeck'schen auch für die vorliegende Frage eine besondere Bedeutung. Indem wir im übrigen auf das Frühere verweisen, wollen wir hier nur darauf aufmerksam machen, dass der Ton einerseits stärker gehört wurde bei Kombination der Röhren a und c als bei derjenigen der Röhren b und c, woraus hervorgeht, dass die Phasendifferenz beider Töne nicht ohne Einfluss auf die Intensität der Tonempfindung ist. Andererseits fand sich die letztere bei diesen beiden Kombinationen deutlich stärker als bei derjenigen der Röhren a, b und c.

Die Konsequenzen aus dieser letzten Beobachtung habe ich schon oben bei Besprechung des Seebeck'schen Versuches gezogen. Eine Luftüberleitung der Töne von Ohr zu Ohr ist auch hier nicht ausgeschlossen, da die Röhren, welche zu den beiden Ohren führen, miteinander kommunizieren. Aber während dieselbe beim Seebeck'schen Versuche völlig bedeutungslos war, kann dies von ihr beim Mach'schen Versuche nicht gesagt werden; denn die Wegelängen von Ohr zu Ohr sind in den aufeinanderfolgenden Anordnungen, für welche das Verhalten der Empfindung verglichen werden soll, nicht gleich. Zudem entstehen beim Zudrücken einer der Röhren an der Verschlussstelle immer Reflexwellen, die je nach dem Orte des Verschlusses auf die anderen in dem Röhrensystem verlaufenden Wellen einen verschiedenen Einfluss haben. Dieser Versuch ist also jedenfalls nicht einwandfrei, wenn auch das Resultat desselben darum nicht gerade als durchaus fehlerhaft und entstellt anzusehen ist. Auch ergab ja, wie Mach (freilich nicht ausdrücklich für jeden Punkt) bemerkt, ein anderes von diesen Einwänden freies Experiment, bei welchem durch eine Röhrenverbindung gleiche und entgegengesetzte Phasen von verschiedenen Zinkenseiten ein und derselben Gabel aufgefangen wurden, dasselbe Resultat.

Docq⁴⁰⁾ (1870) versuchte den Intensitätsunterschied eines konstanten Tones bei abwechselnd monotonischem und diotonischem Hören zu messen, indem er die Entfernungen der Schallquelle bestimmte, bei welchen der Ton beide Male gleich stark gehört wurde. Das Verhältnis der Hörschärfe in beiden Fällen, welches er dem Verhältnis der Quadrate der entsprechenden Entfernungen gleichsetzte, bestimmte er auf ca. 2,7; er bemerkt jedoch, dass die unmittelbare Beobachtung einen solchen Unterschied nicht erkennen lasse.

Gegen die Berechnung wie gegen die Versuchsmethode lässt sich aber auch verschiedenes einwenden (conf. Stumpf²²⁾ II. 436). Zunächst gilt der Satz, dass sich die Schallstärke umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung von dem Schallerreger ändere, wohl nur da, wo die Dimension der letzteren gegenüber den allseitigen Entfernungen von den reflektierenden Begrenzungen des betreffenden Raumes unbedeutend ist. Weiter ist es sehr fraglich, ob das Verhältnis der physiologischen Erregungsstärken oder gar der Empfindungsintensitäten im vorliegenden Falle überhaupt durch dasjenige der physikalischen Reizstärken gemessen werden könne. Sodann wird bei Verschiebung der Schallquelle in der Gesichtslinie in Bezug auf die Ohren nicht nur die Entfernung sondern auch die Richtung derselben geändert. Endlich kann auch die Störung, welche für die Intensitätsvergleiche aus dem Verstopfen oder Zudrücken des Ohres erwächst, was ja den Schall zugleich dumpfer macht, durchaus nicht sehr unbedeutend sein; Fechner fand wenigstens eine sichere Vergleichung unter diesen Umständen fast unmöglich.

Le Roux⁴⁰⁾ (1875) beobachtete zunächst, dass die durch

40) Le Roux, Sur les perceptions binaurales. Comptes rendus. Bd. 80, p. 1073. 1875.

Abstandsänderungen einer für sich nahezu unhörbaren Gabel vom Ohr herbeigeführten Intensitätsschwankungen des betreffenden Tonreizes deutlich wahrgenommen werden, sobald eine voll tönende gleichgestimmte Gabel dem anderen Ohre genähert wird. Ferner schätzte er bei gleich starker Reizung beider Gehörorgane die Intensität der Gesamtempfindung etwa gleich der Quadratsumme der Intensitäten der Einzelempfindungen. — Bloße Schätzungen sind aber doch wohl etwas zu wenig verlässlich, um solche Formeln darauf zu stützen. Der obige Versuch aber bestätigt im wesentlichen die Mitteilungen von Scott Alison und Fechner.

Tarchanow⁴¹⁾ (1878) fand, wenn er telephonisch zu beiden Ohren einen Ton leitete, der sich für jedes Ohr an der Schwelle der Hörbarkeit befand, immer eine zwar schwache aber deutliche Empfindung und schloss hieraus auf eine centrale Summation selbst subliminaler monotischer Erregungen.

Dieser Schluss scheint mir aber mindestens nicht notwendig; hier, wo der Schall zu beiden Ohren in gleicher Phase gelangt, ist auch eine Verstärkung durch Interferenz möglich, und zwar auch, wenn die beiden Erregungen subliminale sind. Aber fände selbst eine Verstärkung auch dann noch statt, wenn derselbe Ton in entgegengesetzten Phasen zu beiden Ohren gelangt, so wäre die centrale Summation der Erregungen doch immer noch nicht die einzig mögliche Grundlage dieser Erscheinung.

Preyer⁴²⁾ (1879) bestätigte durch eigene Versuche die Beobachtung Tarchanow's und acceptiert auch dessen Erklärung

41) Tarchanow, Das Telephon als Anzeiger der Nerven- und Muskelströme beim Menschen und den Tieren. St. Petersburger med. Wochenschr. 1878, No. 43. (n. R.)

42) Preyer, Die akumetrische Verwendung des Bell'schen Telephons. Sitz.-Ber. d. Jenaischen Ges. f. Med. u. Naturwiss. 1879, p. 45.

derselben. Auch fand er bei seinen Telephonversuchen die Tonempfindung in dem einen Ohre immer bedeutend verstärkt, wenn das zweite Hörtelephon dem anderen Ohre genähert wurde.

Körting⁴³⁾ (1879), welcher eine große Zahl von Personen nach dieser Methode untersuchte, fand durchgängig das Hörvermögen beim diotischen Hören größer als beim monotischen.

Kessel⁴⁴⁾ (1882) behauptet, dass die Entfernung einer vorn in der Medianebene befindlichen Schallquelle vom Beobachter, um deutlich vernommen zu werden, beim diotischen Hören nicht größer sein könne, als beim monotischen. — Wie der Widerspruch zwischen dieser und den obigen Beobachtungen zu lösen sei, ist mir nicht klar, zumal weder in ihren objektiven, noch auch in ihren subjektiven Bedingungen ein Unterschied nachweisbar ist.

Fechner²¹⁾ (1883) spricht sich gegen die von Tarchanow und Preyer angenommene centrale Summation der Erregungen aus; denn für diesen Fall meint er, müsse man erwarten, dass erstens die Versuche mit zwei vor die Ohren verteilten Schallquellen, wie z. B. der Taschenuhrenversuch Weber's, dasselbe Resultat geben wie bei Anordnung beider Schallquellen vor demselben Ohre, und zweitens der Schall, um diotisch hörbar zu sein, monotisch nur wenig die halbe Schwellenhöhe zu übersteigen brauche, was ja nach Preyer (ebenda p. 160) durchaus nicht der Fall ist. Aber auch anatomisch sei es ja gar nicht erwiesen, dass »die beiden Hörnerven im Gehirn an einer und derselben Stelle in einander

43) Körting, Telephonische Hörprüfung. Sitz.-Ber. d. Jenaischen Ges. f. Med. u. Naturwiss. 1879, p. 67.

44) Kessel, Über die Funktion der Ohrmuschel bei den Raumwahrnehmungen. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 18, p. 120. 1882.

münden«. Doch mit Rücksicht auf die Thatsache, dass man diotisch denselben Schall nur einfach hört, schließt Fechner (p. 174): »Ich denke mir also, dass die beiden Akustikusnerven im Gehirn zwar besonders endigen, aber doch eine schwache Verbindung haben, welche die Einigung ihres Schalles zu einem Eindruck für die Empfindung vermittelt, ohne aber eine volle Summierung der Stärke nach zu gestatten, gebe aber das Hypothetische dieser Vorstellungsweise zu«.

Der zweite der obigen Einwände trifft aber eben nur den Fall einer totalen Vereinigung beider Akustikusbahnen, und der erste ruht zudem auf der ganz unbegründeten Annahme, dass eine solche jeden lokalen Unterschied der den beiderseitigen Reizen entsprechenden Gehörsempfindungen aufheben würde. Umgekehrt scheint mir aber eine »schwache Verbindung« beider Hörnerven diese Aufhebung bei gleichzeitigen qualitativ gleichen Erregungen derselben auch nicht zu gewährleisten.

Man könnte vielleicht auch die Erscheinung der Mitübung hierher beziehen, welche Urbantschitsch ⁴⁵⁾ (1883) bei einseitig vorgenommenen Hörübungen an dem von der Reizeinwirkung ausgeschlossenen Ohre beobachtete und durch den Trigeminus vermittelt ansieht, dessen Funktion dabei wohl darin bestehen soll, dass er die Erregbarkeit des anderen Organs erhöht.

Auch Eitelberg ⁴⁶⁾ (1883) konstatierte bei Untersuchung des Einflusses von Gehörübungen eines Ohres auf das andere unter 18 Fällen 12 mal eine allmählich ansteigende, doch bald vorübergehende Hörverbesserung des letzteren.

45) Urbantschitsch, Über den Einfluss von Trigeminusreizen auf die Sinnesempfindungen u. s. w. Pflüg. Arch. Bd. 30, p. 129. 1883.

46) Eitelberg, Über den Einfluss der Behandlung des einen Ohres auf das andere nicht behandelte Ohr. Zeitschr. f. Ohrenheilk. Bd. 12, p. 162. 1883.

Eine gewisse Verstärkung infolge der Übung des anderen Ohres könnte freilich außer durch eine Summe von Miterregungen wohl auch durch die allmählich erleichterte und erhöhte Konzentration der Aufmerksamkeit auf die betreffende Reizqualität im allgemeinen hervorgebracht sein.

In einer weiteren Arbeit bestätigt Urbantschitsch⁴⁷⁾ (1883) die Le Roux'schen Angaben und spricht, gestützt auf einige weitere Beobachtungen, die Behauptung aus, dass auch zwei Schalle von beliebig verschiedener Qualität, jeder je einem Ohre isoliert zugeleitet, einander verstärken. Diese Verstärkung soll bei hochgradig schwerhörigen Personen besonders deutlich aber meist einige Sekunden verspätet auftreten und zwar auch dann noch, wenn eine der Gabeln schon wieder entfernt ist. Urbantschitsch führt die Verstärkung darauf zurück, dass zu den von außen kommenden Hörimpulsen noch central erregte subjektive Reize hinzukommen, welche die in Erregung versetzten akustischen Centren der einen Seite auf diejenigen der anderen ausüben.

Was Urbantschitsch hier unter diesen centralen Reizen versteht, ist nicht ganz deutlich. Er billigt⁴⁸⁾ (1881) die Annahme, dass ein akustischer Reiz nicht unmittelbar eine ihm entsprechende Empfindung veranlasse, sondern zunächst einen psychophysischen Erregungszustand hervorrufe, der seinerseits erst die Gehörsempfindung auslöst. Hiernach würde er diese Aktion wohl auch einem centralen Erregungszustande zuweisen, welcher indirekt durch ein anderes in Erregung befindliches Centrum verursacht ist. Die Auffassung von Urbantschitsch

47) Urbantschitsch, Über Wechselbeziehungen der innerhalb eines Sinnesgebietes gesetzten Erregungen. Pflüg. Arch. Bd. 31, p. 280. 1883.

48) Urbantschitsch, Über das An- und Abklingen akustischer Empfindungen. Pflüg. Arch. Bd. 25, p. 323. 1881.

käme sonach ebenso wie diejenige von Tarchanow auf eine centrale Mischung der beiderseitigen Erregungen hinaus. Aber in der erstgenannten Arbeit scheint er doch nur durch die von einem Centrum auf das andere ausgeübten Reize die Erregbarkeit des letzteren gesteigert zu denken. Freilich ist auch diese Annahme durch das vorliegende Erfahrungsmaterial ebenso wenig sicher gestellt wie diejenige von Tarchanow. Eine so allgemeine wechselseitige Verstärkung, wie sie Urbantschitsch bemerkt haben will, ließe sich freilich nicht auf eine Summation oscillatorischer und auch kaum auf eine solche nichtoscillatorischer Erregungen zurückführen.

Stumpf²²⁾ leugnet zunächst auf Grund eigener Beobachtungen (II. 431), dass die Totalempfindung bei Einwirkung qualitativ verschiedener Töne und zwar auch solcher, welche diotisch gleichzeitig gehört, nicht mehr als verschieden erkannt werden, eben für den Fall der Verteilung der betreffenden Gabeln vor die Ohren größere Intensität besitze als jede ihrer Komponenten. Aber auch bei weniger großem Qualitätsunterschiede beider Tonreize gesteht er für den Fall größerer Stärke derselben höchstens eine Verstärkung durch Interferenz zu (conf. pag. 23). Verglich er jedoch, immer auf einen schwachen Schall horchend, seine Stärke, indem er nach einander beide, eines und keines der Ohren verschlossen hatte, so fand er einen großen Unterschied zwischen dem ersten und zweiten, aber keinen nennenswerten zwischen dem zweiten und dritten Falle (II. 433). Bei minimalen akustischen Reizen vollends behauptet Stumpf, unter Anwendung der nämlichen Versuchseinrichtung, wie sie Tarchanow und Preyer benutzten, diotisch keine Verstärkung, und wenn der Ton monotisch unhörbar war, auch mit beiden Ohren nichts vernommen zu haben (II. 439). Aber selbst auf Grund der Beobachtungen dieser Autoren könne man nicht ohne weiteres auf eine gegenseitige Verstärkung beider

Erregungen schließen, da die Wahrnehmungsschwelle für zwei minimale Reize ja nicht gleich derjenigen für einen zu sein brauche. Stumpf weist ferner (II. 434) darauf hin, dass man, besonders wenn man einen schwachen Schall besser hören wolle, der Schallquelle nicht das Gesicht, sondern ein Ohr zuzuwenden pflege, was wohl nicht geschähe, wenn man diotisch besser hörte. Die Wahrnehmung einer Verstärkung müsse deshalb auf einer Täuschung beruhen, welche allerdings dadurch begünstigt werde (II. 431), dass der diotisch gehörte Schall voller und breiter, auch qualitativ reicher sei als der monotisch gehörte; zudem komme dabei das doppelte subjektive Raummoment in Betracht. Diese Täuschung verschwinde jedoch bei genauerer Beobachtung allemal (II. 442); selbst in dem oft wiederholten Versuche von Scott Alison, wo die Aufmerksamkeit so sehr dem einen Ohre zugewandt sei, dass man die Schallzunahme im anderen momentan in ersterem wahrzunehmen glaube, sei dies bei hinreichender Aufmerksamkeit auf den Ort der Tonanschwellung der Fall. Auch die Thatsache, dass die Schwebungen verteilter Gabeln, wenn man ihre Entfernungen von den Ohren variiert, immer dem jeweils stärkeren Tone zuzukommen scheinen (II. 490), obwohl sie doch (die Kopfknochenüberleitung vorausgesetzt) auf der Seite des schwächeren stärker sein müssen, möchte er in ähnlicher Weise auf »Gewohnheiten der Lokalisation« zurückführen. Der von Urbantschitsch für die Erscheinung der Mitübung gegebenen Erklärung gegenüber verhält sich Stumpf ziemlich ablehnend (I. 81 und II. 443); die betreffenden Erscheinungen möchte er wohl im wesentlichen nur »einer gesteigerten Fähigkeit in der Konzentration und Lenkung der Aufmerksamkeit« zuschreiben.

Es ist nun zunächst bemerkenswert, dass die Beobachtungen Stumpf's mit fast allen vorher beschriebenen in genauem Widerspruche stehen. Ja, da er oft die gleiche Versuchsanordnung

wie seine Vorgänger benutzte, hat es fast den Anschein, als lägen bei ihm andere subjektive Bedingungen der Beobachtung vor. Im Anschluss an die erste Beobachtung muss Stumpf natürlich auch gegen Urbantschitsch eine wechselseitige Verstärkung verschiedener Töne leugnen. Diejenige aber, welche er beim diotischen Hören verschiedener aber monotisch nicht unterscheidbarer Töne zugesteht, kann ja nicht, wie er es meint, von Interferenz herrühren (conf. pag. 24), müsste also doch wohl als eine ständige Verstärkung angesehen werden. Bei den schwierigen Versuchen mit minimalen Reizen kann uns jedoch der Widerspruch in den Resultaten verschiedener Autoren kaum wundern. Das von Stumpf gegen die diotische Verstärkung beigebrachte Argument aus der Praxis scheint mir ferner wenig zu besagen; genügte es doch schon zu deren Beweise, wenn der von vorn kommende Schall diotisch stärker vernommen wird als monotisch. Durch das Hinwenden des Ohres zur Schallquelle mag man auch wohl weniger ein Lauter- als vielmehr ein Deutlicherhören bezwecken, wahrscheinlich veranlasst durch die beim diotischen Hören auftretende Schwächung der die Klänge charakterisierenden Obertöne. Was den Alison'schen Versuch betrifft, so darf natürlich nach Stumpf die ganze Rektifikation der Wahrnehmung nicht etwa der Analyse einer Totalempfindung gleich gesetzt werden; denn an einer solchen dürften Intensitätsschwankungen einer schwächeren Komponente überhaupt nicht als solche bemerkt werden. Wo nun aber die Möglichkeit einer Lösung der Täuschung im Sinne Stumpf's negiert wird, hat man doch wohl, ehe man dies auf Rechnung einer geringeren Übung der Beobachter setzt, vielmehr unter Annahme einer individuellen Abweichung derselben eine Totalempfindung als Trägerin der Intensitätsschwankungen anzuerkennen. Was bei Stumpf diese Kombination beider Gehörseindrücke verhinderte, kann ja zugleich die Verstärkung

von Ohr zu Ohr unmöglich gemacht haben. Übrigens hat Stumpf das, worauf es hier besonders ankommt, dass nämlich, während er die Intensitätsschwankungen als in der Hauptsache dem leiseren Tone zugehörig erkannte, der lautere auch nicht die geringsten Intensitätsschwankungen zeigte, gar nicht ausdrücklich betont.

Schaefer¹⁴⁾ (1890), welcher denselben Alison-Fechner'schen Versuch als ein Analogon zu den diotischen Schwebungen bei Verteilung von Gabeln verschiedener Intensität vor die Ohren betrachtet, scheint mit Stumpf die Auffassung zu teilen, dass infolge von Lokalisationstäuschung die Intermittenzen immer auf die Seite des stärkeren Tones verlegt werden.

Drückte er ferner²⁴⁾ (1890), ganz wie Preyer, ein Telephon an das eine Ohr, während er zugleich ein zweites gleich tönendes dem anderen langsam näherte, so verstärkte sich der Ton im verschlossenen Ohre.

Die Phasengleichheit der Schwingungen beider Telephonplatten macht zwar die Reizbedingungen in diesem Versuche konstanter und leichter kontrollierbar als bei Verteilung gleichgestimmter Gabeln, aber die gleichzeitige Variation von Intensitäts- und Phasendifferenz beeinträchtigt die Klarheit des Resultates. Mit Sicherheit ist nur anzunehmen, dass die Verstärkung durch Interferenz hier eine bedeutende Rolle spielt; denn der Einfluss, den hierauf schon die durch Annäherung des zweiten Telephons herbeigeführte Verstärkung der einen Komponente hat, wird durch die gleichzeitige Verkleinerung der Phasendifferenz beider Erregungen noch beträchtlich gesteigert.

Hier sei auch der schon früher besprochenen Mitteilung Schaefer's²⁵⁾ (1891) gedacht, dass sich bei schwacher akustischer

Reizung eines Ohres durch Verstopfung des anderen Verstärkung der Empfindung erzielen lasse.

Doch auch diese lässt sich schwerlich mit Sicherheit als eine ständige betrachten. Denn mag die durch den Kopfknochen übergeleitete Erregung mit der ersten — nach verstärkter Rückleitung auf demselben Wege — am Ausgangsorte oder central wieder zusammentreffen, die Phasendifferenz der beiden Komponenten würde nicht so beträchtlich sein, dass eine Verstärkung aus der eventuellen Interferenz nicht noch zu erwarten wäre.

Scripture²⁸⁾ (1893) fand übrigens in dem vorerwähnten Versuche jenes Resultat Schaefer's bei Anwendung minimaler Reize nicht bestätigt. — Die übergeleitete Erregung war hier jedenfalls zu schwach, um auf einem der oben genannten Wege noch eine merkliche Verstärkung der ersten zu bewirken.

Jüngst hat nun Urbantschitsch²⁹⁾ (1893) über denselben Punkt verschiedene weitere Versuche angestellt. Die Platten zweier Hörtelephone wurden vermittelt eines Neef'schen Hammers in Schwingungen versetzt. Dabei war die Intensität des erregenden Stromes durch ein Induktorium regulierbar, dessen Sekundärspule mittelst Annäherung an die Primärspule die Stromintensität proportional den Teilmengen einer hundertteiligen Skala zu steigern gestattete. Die Intensität des Stromes wurde bei den Versuchen immer auf einen solchen Wert eingestellt, dass die Tonempfindung eine ebenmerkliche war. Urbantschitsch fand auf diese Weise, dass in verschiedenen Fällen, besonders bei nicht zu großem Gehörsunterschiede beider Ohren, die Stromintensität beim monotonischen Hören ungefähr doppelt so groß sein musste, um eine ebenmerkliche Tonempfindung zu erzielen, als beim diotischen Hören. War jedoch die Hörfähigkeit beider Ohren verschieden, und befand sich

sonach ein Schall, welcher zu beiden Ohren in gleicher Stärke gelangte, nur an der Empfindungsschwelle des schlechter hörenden Ohres, so brachte die Zuleitung des Schalles zu dem letzteren keine merkliche Stärkezunahme der Gesamtempfindung. Wurde aber in diesem Falle die Schalleinwirkung auf das bessere Ohr bis nahe an dessen Empfindungsschwelle abgeschwächt, so trat bei diotischer Schallzuleitung die Hörverstärkung wieder deutlich hervor. Hier erschien die Gehörswahrnehmung in der Regel nur in oder nahe dem besser hörenden Ohre*). Auch fand Urbantschitsch die Tarchanow'sche Beobachtung bestätigt, dass ein Ton, welcher zu schwach war, um noch monotisch gehört werden zu können, bei diotischer Zuleitung doch wahrnehmbar war. Er schließt aus diesem und den schon oben mitgeteilten Versuchsergebnissen, dass das diotische Besserhören nicht darauf beruhe, dass die durch den Kopfknochen übergeleiteten Erregungen hierbei verstärkend auf die beiderseits direkt zugeleiteten Töne wirken, sondern dass es einer wechselseitig hervorgerufenen Perceptionssteigerung der akustischen Centren zugeschrieben werden müsse. Er stützt sich dabei noch auf verschiedene Fälle, in denen, da der Steigbügel gänzlich isoliert war, die in analogem Sinne wirkende Wechselbeziehung beider Organe, wie er meint, nur eine rein sensorielle gewesen sein kann. Die Tarchanow'sche Beobachtung findet natürlich hier die Deutung, dass eben selbst subliminale Erregungen eines

*) Als Ausnahme hiervon ist folgender Fall interessant; es fanden sich bei einer Versuchsperson rechts und links die bezüglichen Stromstärken 20 und 10 nötig, um dort ebenmerkliche Telephontöne zu erzeugen. Diotisch wurde schon bei der Stromstärke 7 ein Ton vernommen und zwar im schlechter hörenden Ohre. Die Erscheinung lässt sich einigermaßen wohl nur durch die Annahme erklären, dass die Einwirkung des rechten Organs auf das linke geringer war als die umgekehrte. (Die Übertragung der Schallwellen auf den Kopfknochen erfolgte vielleicht im rechten, schlechter hörenden Ohre in geringerem Maße als links.)

Organes schon anregend auf das Centrum der anderen Seite wirken können. Ein diotisches Besserhören fand sich übrigens nicht bei allen Versuchspersonen. — Letzere rekrutierten sich aber wohl auch meist aus Patienten.

Gegen das obige Verfahren der Messung der bezüglichen Empfindungsstärken lässt sich aber zunächst einwenden, dass die einfache Proportionalität der Stromstärke mit der Schallintensität einerseits und mit den Teilmengen der Skala andererseits wohl nicht ganz sicher gestellt ist. Ferner bietet, dünke ich, die Erklärung der obigen Erscheinungen ohne Ausnahme mit Hülfe der durch irgend welche schwingenden Teile der Gehörorgane vermittelten Überleitung der Schwingungen durch die Kopfknochen, zumal man ja auf das aus den Zahlen erhaltene hohe Maß der Verstärkung kein zu großes Gewicht legen darf, kaum irgend welche Schwierigkeiten. Was die Erscheinungen bei verschiedener Hörfähigkeit beider Ohren angeht, so lassen sich dieselben unter beiden Annahmen nur so verstehen, dass die Verstärkung, wenn sie an einer eben merklichen Erregung auftritt, eben merklicher ist, als wenn sie eine schon an sich starke Erregung betrifft. Wie nun in den vorliegenden Versuchen die Verstärkung sofort sehr deutlich auftritt, sobald nur die Verhältnisse der beiderseitigen Hörschärfen und Reizstärken zu einander reciprok sind, so wird sie auch umgekehrt bei größerem Stärkeunterschiede der centralen Erregungen fast gleich wenig merklich sein, wenn er von einer Verschiedenheit der Reizstärken, als wenn er von einer solchen der Hörschärfe beider Ohren herührt. Zu der von Urbantschitsch gegebenen speziellen Erklärung der Verstärkung möchte ich endlich dasselbe bemerken, wie oben zu der Tarchanow'schen, dass sie nämlich, nach den mitgeteilten Erfahrungen zu schließen, selbst wenn die Interferenz für diese Erscheinung sicher unwesentlich wäre, immer noch nicht die einzig mögliche ist.

Endlich untersuchte Bloch³²⁾ (1893) das diotische Bessern hören und seine Bedingungen. Er fand, dass zur Verstärkung der Klangempfindung, welche übrigens bei jeder Tonhöhe bemerkbar sein soll, die absolute Gleichheit der Tonhöhe beider Gabeln in der That nicht erforderlich sei, schränkte jedoch diese Behauptung von Urbantschitsch dahin ein, dass die Verstärkung in einem umgekehrten Verhältnis zur Größe des Intervalls beider Gabeln stehe; bei a^1 und h^1 konnte er nur eine schwache, bei a^1 und d^2 aber keine nennenswerte Verstärkung mehr bemerken; auch fand er keine erhebliche Intensitätssteigerung bei Verwendung von Stimmgabel und Geräusch, wohl aber bei unisonen Geräuschen. Ferner bestätigte er die Le Roux'schen Beobachtungen, wobei er sich zweier gleichgestimmter Gabeln bediente, — eine Versuchseinrichtung, auf deren Mängel schon mehrfach hingewiesen wurde. Auch Bloch's Empfehlung des binauralen Otokops für solche Versuche möchte ich nicht unterstützen, wenigstens nicht in Fällen, wo es sich um irgendwelche Änderungen der objektiven Reizbedingungen handelt, sie betreffen denn nur die Intensität der Schallquelle selbst; jedes Verschließen der Mündungen oder Zusammendrücken eines der Hörschläuche behufs isolierter Reizung des anderen Organs, jede Verkleinerung des Lumens, ja selbst jede Krümmung der Schläuche setzt neue, ganz unkontrollierbare Bedingungen; denn an solchen Punkten findet immer totale oder partielle Reflexion der Schwingungen statt, die dann mit den im anderen Zweige verlaufenden interferieren. — In der Erklärung der Verstärkung stimmt Bloch im wesentlichen mit Urbantschitsch überein und sucht diese seine Auffassung durch ein schon früher⁴⁸⁾ (1881) von letzterem angestelltes Experiment zu beweisen. Urbantschitsch hatte nämlich von den Ohren aus zwei Hörschläuche zu einer Uhr geleitet und die Mündung des einen in solche Entfernung von

der letzteren gebracht, dass deren Ticken durch denselben eben nicht mehr wahrnehmbar war. War die Mündung desselben Schlauches nun zuerst geschlossen, so wurde das Ticken im anderen Ohre vernommen, es wanderte aber, wenn sie geöffnet wurde, von da aus etwas nach der Medianebene zu. Während Urbantschitsch nun hieraus den Schluss zog, dass zur Entstehung eines subjektiven Hörfeldes neben einer Wahrnehmung des Schalles einerseits auch schon eine unbewusste akustische Empfindung im anderen Ohre genüge, hält Bloch nur die eine Erklärung der Erscheinung für möglich, dass die für sich allein unwahrnehmbare Erregung des einen Organs unter der Einwirkung derjenigen des anderen über die Schwelle der Wahrnehmung gehoben werde.

Urbantschitsch vergaß freilich, dass die schwache Erregung eine andere ist, wenn sie allein, und eine andere, wenn sie gleichzeitig mit dem stärkeren Reize einwirkt. Aber angenommen, dass dieser Unterschied auch ausreiche, um wirklich aus der unbewussten Empfindung eine bewusste werden zu lassen, in welcher Weise er zu stande komme, ob durch centrale Wechselwirkung oder peripherische Interferenz, darüber lässt uns der obige Versuch doch völlig im Unklaren. Die Verstärkung freilich, welche Bloch bei qualitativ bis zu einem gewissen Grade verschiedenen Reizen beobachtete, hat mit der Interferenz der betreffenden Erregungen schwerlich etwas zu thun, sie müsste denn durch die Schwebungen dem Beobachter nur vorgetäuscht werden. Außerdem bliebe aber immer noch der Streit über die Art der centralen Wechselwirkung durchaus unentschieden.

Folgende Thatsachen (die Negation der in Rede stehenden Erscheinung von seiten Stumpf's möchte ich vorläufig als durch individuelle Abweichungen verursacht ansehen) ergeben sich

also aus den obigen Untersuchungen: Gelangen zwei Schalle von gleicher Intensität, Qualität und Phase verteilt zu beiden Ohren, so ist die resultierende Tonempfindung eine merklich stärkere als die jedem einzelnen Reize entsprechende. Diese Verstärkung, welche sich bei normalen Personen wohl immer und auch bei Ohrenkranken meistens gefunden hat, tritt bei jeder Qualität und jeder, selbst bei subliminaler Stärke der Erregungen auf. Ein sicheres Maß der Verstärkung konnte aber bisher nicht gewonnen werden. Intensitätsschwankungen eines der Töne werden, wenn derselbe durchschnittlich größere oder auch gleiche Stärke wie der andere besitzt, nach Fechner auf des ersteren Seite verlegt, ist dieser dagegen im Mittel schwächer als der Ton der ruhenden Gabel, so scheint die Stärke des letzteren zu schwanken. Ein Unterschied beider Töne hinsichtlich der Stärke, der Phase und wohl auch der Qualität schwächt je *ceteris paribus* entsprechend seiner Größe die Erscheinung ab, ebenso ein Unterschied der Hörfähigkeit beider Ohren. Wie sich bei einem Stärkeunterschied beider Reize die Verstärkung auf die Einzelerregungen verteilt, ist bisher nicht festgestellt worden; doch scheint nach dem zuletzt von Bloch herangezogenen Versuche diejenige Verstärkung, welche eine schwächere Erregung durch eine stärkere von der anderen Seite her erhält, relativ bedeutender zu sein als diejenige, welche sie selbst der stärkeren mitteilt. Bei Übung eines Ohres für einen bestimmten Prüfungston fand sich eine Mitübung des anderen von der Reizeinwirkung ausgeschlossenen Ohres, eine Erscheinung, die noch wenig erklärbar ist und deshalb auch noch nicht mit Bestimmtheit als hierher gehörig bezeichnet werden kann. Bei Schwerhörigen trat die Verstärkung oft sehr deutlich aber meist verspätet auf.

Dass die Verstärkung nun nicht einzig und allein auf Interferenz beruht, geht daraus hervor, dass dieselbe einerseits auch

bei entgegengesetzten Phasen übermerklicher Tonreize, und zwar in etwas geringerem Grade besteht, andererseits auch bei nicht zu großem Qualitätsunterschiede beider Erregungen bemerkt worden ist. Denn infolge der Interferenz müsste in jenem Falle eine Schwächung erwartet werden; gegen die zweite Beobachtung aber ließe sich höchstens der zuletzt gegen Bloch erhobene Einwand geltend machen. Ob die bei subliminalen Reizen beobachtete Verstärkung eine ständige sei, oder auf Interferenz zurückgeführt werden müsse, ist noch fraglich. Doch die Tatsache, dass diotische Schwebungen auch bei leisesten, ja subliminalen Erregungen bemerkt worden sind, und vielleicht auch die Beobachtung Schaefer's, dass bei seinem (pag. 25) eingehend besprochenen Versuche mit der Verstärkung immer eine Lokalisationsverschiebung einherging, machen die letztere Annahme wahrscheinlich, die erstere aber zum mindesten entbehrlich. Es ist nun weiter die Frage, ob die Verstärkung, so weit sie nicht aus Interferenz erklärt werden kann, auf einer Summation nicht oscillatorischer Erregungen oder auf irgend einer nur die Reizaufnahme begünstigenden Wechselwirkung beider Organe beruhe, wobei wir beides zunächst in weiterem Sinne nehmen möchten, als dies einerseits Tarchanow und Preyer, andererseits Urbantschitsch und Bloch thun. Lässt sich diese Frage nun auch nicht sofort entscheiden, soviel ist zunächst wohl sicher, dass bei der ersten Annahme, für welche man vielleicht sogar in der Kreuzung der Hörnerven, wenn diese überhaupt eine eigentliche Verbindung darstellt, eine nicht unpassende Stütze erblicken könnte, die sich addierenden Erregungen nicht qualitativ verschieden sein dürften, weil sonst besondere Mischungerscheinungen erwartet werden müssten. Dass die Verstärkung mit der Einführung einer qualitativen Verschiedenheit beider Erregungen nicht plötzlich, sondern allmählich verschwindet, ließe sich dabei wohl nur so erklären, dass jeder

Reiz neben einer entsprechenden auch eine Reihe qualitativ und intensiv zunehmend differenter Erregungen auslöst, eine Hypothese, gegen welche sich freilich manche Bedenken geltend machen lassen (conf. Stumpf²²) I. 256 f.). Freilich auch für die zweite Annahme, nach welcher jeder Reiz die Perception anderer je nach dem Grade der Ähnlichkeit begünstigt, gestalten sich die Verhältnisse hinsichtlich der Erklärung kaum einfacher. Urbantschitsch freilich, der keine solche exklusive Perceptionssteigerung annimmt, sondern im Gegenteil⁴⁹) (1888) behauptet, dass mit Erregung einer Sinnesempfindung sämtliche Sinnescentren erregt werden, entgeht wenigstens dieser Schwierigkeit; freilich dürfte diese Angabe auch noch nicht in ihrem ganzen Umfange als gesichert anzusehen sein.

b. Schwächung.

Auch Erscheinungen, welche auf eine Schwächung hinauslaufen, sind verschiedentlich beobachtet worden. Ähnliche Erscheinungen, welche aus einer Interferenz der Erregungen in entgegengesetzten Phasen resultieren, kommen hier natürlich nicht in Betracht.

Scott Alison³⁹) (1859) bemerkt, dass jeder Schall, sobald er nur in etwas verschiedener Intensität zu beiden Ohren gelangt, immer nur in dem stärker erregten Ohre gehört wird, während das andere völlig taub für denselben zu sein scheint. Dagegen verhindere schon die geringste qualitative Verschiedenheit der beiderseitigen Erregungen diese Unterdrückung der schwächeren.

Fechner⁷) (1860) meint, wenn wir in jenem Versuche den Ton allein in dem stärker erregten Ohre zu hören glauben, so

49) Urbantschitsch, Über den Einfluss einer Sinneserregung auf die übrigen Sinnesempfindungen. Pflüg. Arch. Bd. 42, p. 104. 1888.

beruhe das jedenfalls auf Täuschung; die Verstärkung, welche die Gesamtempfindung durch den schwächeren Schall erfahre, bezeuge, dass der letztere durch den stärkeren Schall durchaus nicht aus der Wahrnehmung verdrängt sei.

Wenn aber selbst subliminale Erregungen verstärkend wirken können, wie dies ja von verschiedenen Autoren konstatiert worden ist, so kann doch von der Verstärkung nicht ohne weiteres auf diotische Wahrnehmung geschlossen werden.

Politzer⁵⁰⁾ (1860) entnahm aus Beobachtungen an einseitig Schwerhörigen die Erfahrung, dass »das Überwiegen einer Tonempfindung in einem Ohre die Empfindung im anderen trotz gleichstarker Zufuhr von Schallwellen zu beiden Ohren gänzlich verdrängen kann«.

Schaefer¹⁴⁾ (1890) sagt, bei Verteilung zweier unisoner Gabeln, einer lauten und einer leisen, je vor ein Ohr werde nur der Ton der ersteren gehört. Jedoch verraten sich Intensitätsänderungen des schwächeren Reizes sowohl durch Stärkeschwankungen als auch, wiewohl weniger deutlich, durch Lokalisationsänderung der Gesamtempfindung²⁵⁾ (1891).

Aus der letzteren Beobachtung ist nun allerdings mit Sicherheit zu schließen, dass in dem betreffenden Falle keine Unterdrückung der schwächeren Erregung durch die stärkere erfolge, womit aber natürlich nicht etwa gesagt ist, dass hier nun auch keine Schwächung von Ohr zu Ohr vorliege. Für diese Extreme (Mangel jeder Schwächung — völlige Unterdrückung der Wahrnehmung) lässt sich ja natürlich durch derartige Lokalisationsbeobachtungen überhaupt kein positiver Nachweis erzielen. Ja nicht einmal zu einer definitiven Negation des ersteren Extrems

50) Politzer, Untersuchungen über die Schallfortpflanzung und Schallleitung im Gehörorgane im gesunden u. kranken Zustande. II. Teil. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 1, p. 318. 1864.

oder, was dasselbe ist, zur Feststellung einer Schwächung reichen die Beweisstücke aus; denn während die dem letzteren Extreme entsprechende Lokalisation als eine schlechthin laterale für die Vergleichung mit der wirklich auftretenden genügend bestimmt ist, würde die dem ersteren entsprechende Lokalisation dazu eine schwerlich erreichbare Erweiterung ihrer Bestimmtheit verlangen.

Stumpf²²⁾ behauptet (II. 435), dass zwei getrennt zu beiden Ohren geleitete Töne, mögen sie gleiche oder ungleiche Tonhöhe besitzen, sich keinesfalls gegenseitig schwächen. In den Zusätzen (II. 562) citiert er dagegen eine Mitteilung Schaefer's, nach welcher bei Verteilung verschiedener Gabeln an beide Ohren doch, wenn auch erst bei bedeutendem Stärkeunterschiede beider Töne, eine Unterdrückung des schwächeren zu erfolgen scheint.

Leider ist über die Qualitätsdifferenz der verwendeten Töne nichts weiter angegeben; doch wird es nicht unrichtig sein, die widersprechende Beobachtung Scott Alison's, der mit Glocke, Uhr und Stimme experimentierte, aus einer größeren Qualitäts- oder vielleicht geringeren Intensitätsdistanz der betreffenden Töne zu erklären.

Urbantschitsch scheint²⁹⁾ (1893) geneigt, auch das alternierende Verhalten der Hörfunktion, wie es besonders im erhöhten akustischen Erregungszustande auftreten soll, sowie die pathologischen Transfererscheinungen bei Hysterischen hierher zu beziehen. Er giebt freilich⁵¹⁾ (1882) für diese wohl zuerst von Charcot entdeckten und von Rumpf (1879) sowie von ihm selbst in Gemeinschaft mit Rosenthal⁵²⁾ (1880) u. A. weiter

51) Urbantschitsch, Über subjektive Schwankungen der Intensität akustischer Empfindungen. Pflüg. Arch. Bd. 27, p. 435. 1882.

52) Urbantschitsch, Beobachtungen über centrale Akustikusaffektionen. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 16, p. 171. 1880.

untersuchten Erscheinungen folgende Erklärung: »Bei binotischer*) Einwirkung eines Schallreizes kommt sämtlichen akustischen Centren ein bestimmtes Empfindungsmaß zu, dessen Verteilung auf beide Gehörorgane mannigfachen Veränderungen unterliegt, so dass die Perceptionsfähigkeit bald auf dem einen, bald auf dem anderen Ohre vorherrscht, bald wieder auf beide Ohren gleichmäßig sich erstreckt«. Wenn ich recht verstehe, schreibt auch Stumpf²²⁾ (II. 444), freilich in etwas allgemeinerer Form, die gleichzeitige Begünstigung der Empfindung einerseits und Hemmung derselben andererseits einer gemeinschaftlichen Ursache zu und weist dagegen die Annahme eines Antagonismus der beiderseitigen Empfindungen, für welchen sonst nichts spreche, entschieden zurück.

In der That scheint mir die unmittelbare Ursache solcher Vorgänge, wie sie zudem oft unter Konstanz der äußeren Bedingungen auftreten, bei der gleichmäßigen Inanspruchnahme und bei der regelmäßig entgegengesetzten Beteiligung, aber doch nicht unterschiedlichen Disposition beider Organe hinsichtlich desselben Vorganges kaum in diesen selbst, sondern wohl nur in der Funktionsstörung eines Apparates gesucht werden zu können, der in gleicher Weise mit beiden Organen in Verbindung steht und so eine Art passiver Beziehung zwischen ihnen bedingt. Wie dem nun aber auch sein mag, keinesfalls kann, wie bei den übrigen in dieser Arbeit behandelten Erscheinungen, die Funktion der Gehörorgane als die *conditio sine qua non* dieser Vorgänge gelten, weshalb ich sie auch den ersteren nicht anreihen möchte. Dasselbe gilt von der Erscheinung, über welche Magnus⁵³⁾ (1880) berichtet, dass nämlich das Hörver-

*) Übrigens wie auch »monaural« ein Barbarismus, der doch besser vermieden würde: unaural-binaural oder monotisch-diotisch.

53) Magnus, Besprechung des Lehrbuchs der Ohrenheilkunde von Urbantschitsch. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 16, p. 276. 1880.

mögen eines Ohres, welches lange Zeit herabgesetzt war, sich oft steigert, wenn das des anderen etwa infolge einer Entzündung abnimmt, mag die von Magnus gegebene und von Stumpf²²⁾ (II. 444) befürwortete Deutung derselben dahin, dass der früher schwächere und deshalb vernachlässigte Eindruck nachmals durch Konzentration der Aufmerksamkeit zum Bewusstsein komme, zutreffen oder nicht.

Wenn man nun überhaupt bei dem geringen Bestande der hierher gehörigen Beobachtungen von einem Resultate derselben reden darf, so ist es zunächst wohl dies, dass sich bei qualitativ gleichen Erregungen eine mehr als bloß scheinbare Unterdrückung bisher nicht gefunden hat. Dagegen scheint in der That eine solche bei qualitativ verschiedenen Erregungen möglich zu sein. Freilich sind damit die Bedingungen der in Rede stehenden Erscheinung noch nicht genügend gekennzeichnet. Eine Betrachtung des Verhältnisses der letzteren Erscheinung zu der oben besprochenen dürfte jedoch in diesem Punkte von Nutzen sein. Wie haben wir uns aber dieses Verhältnis zu denken? — Wenn es auch nicht ausgeschlossen ist, dass wir in den empfundenen Werten nur die Differenzen von Vorgängen vor uns haben, die aus verschiedenen Quellen stammen, so liegt es doch näher, anzunehmen, dass diese Erscheinungen auf derselben Grundlage beruhen und in einander übergehen, und dass sie bezüglich ihres Maßes beide von denselben Faktoren, nämlich von der Intensitätsdifferenz und eventuell der Qualitätsdistanz der beiden Erregungen abhängen. Wie dem nun aber auch sein mag, jedenfalls müssen sich die den empfundenen Gegensätzen entsprechenden Bedingungen ebenso wie jene ausschließen. Dies kann aber auf zweierlei Weise geschehen; nämlich erstens können sie sich als verschiedene Intensitätsverhältnisse der jeweils modificierten zur modificierenden Erregung darstellen, und zwar in der Weise, dass von einem

bestimmten, den Indifferenzpunkt bezeichnenden Verhältniswerte aus allen dem Werte 1 angenäherten Verhältnissen eine Verstärkung, den anderen eine Schwächung der betreffenden Erregung entspricht. Jener Ausgangswert wird dabei aber nur ein echter Bruch sein können; denn von einer Schwächung der stärkeren Erregung durch die schwächere kann jedenfalls nicht die Rede sein. Zweitens können sich diese Bedingungen durch die Qualitätsdistanz der beiden Erregungen unterscheiden, und zwar so, dass von einem gewissen Werte aus gerechnet kleineren Distanzen beiderseits Verstärkung, größeren Schwächung entspricht. Eine solche Umkehrung des Einflusses einer stärkeren Erregung auf eine schwächere, wie sie die erste Annahme verlangen würde, hat bisher nicht konstatiert werden können. Monotisch scheint allerdings Urbantschitsch⁴⁷⁾ 1883 ähnliches beobachtet zu haben; er giebt an, ein leiser Ton werde verstärkt gehört, sobald ein zweiter lauterer demselben Ohre zugeführt werde, nur dürfe letzterer den ersten nicht so stark übertreffen, dass Unterdrückung der schwächeren Schallwahrnehmung erfolge. Lässt sich nun aber die erste Annahme auch nicht ohne weiteres abweisen, so scheint doch die zweite eher mit den bisher vorliegenden Erfahrungen im Einklang zu stehen. Während nämlich die Verstärkung, welche bei gleicher Qualität der beiden Erregungen am beträchtlichsten ist, mit dem Wachsen der Distanz (wenigstens nach Bloch's Angabe) sehr rasch abnimmt, scheint umgekehrt bei etwas größeren Qualitätsdistanzen eine gegenseitige Schwächung der Erregungen Platz zu greifen.

Für den Fall einer einheitlichen Grundlage der beiden Erscheinungen müssen wir natürlich auch eine entsprechende Erklärung derselben erwarten. Von den beiden schon oben für die Verstärkung angegebenen Erklärungen dürfte nun aber die Tarchanow'sche der Ausdehnung auf die Verdrängungsercheinungen kaum fähig sein, da hier schwerlich von einer

Summation entgegengesetzt gerichteter Bewegungen die Rede sein kann. Somit bliebe nur folgende, der von Urbantschitsch und Bloch befürworteten ähnliche Deutung: Beruht die Verstärkung auf einer die Reizaufnahme begünstigenden, so die Schwächung auf einer dieselbe hemmenden Wechselwirkung der in Funktion befindlichen Organe. Berücksichtigt man weiter, dass monotisch ganz ähnliche Erscheinungen von Verstärkung und Schwächung qualitativ weniger bezüglich mehr differenter Erregungen beobachtet worden sind, erstere wohl auf einer synergischen Steigerung, letztere auf einer kompensatorischen Herabsetzung der Leitfähigkeit ihrer Bahnen beruhend, so liegt es ziemlich nahe, die oben besprochenen Erscheinungen des diotischen Hörens einfach aus einer funktionellen Synergie beider Organe zu erklären.

Über die lokalen Bedingungen der obigen Beziehungsercheinungen nun lassen sich mancherlei Vermutungen aufstellen. Acceptieren wir die zuletzt gegebene, durch die größere Wahrscheinlichkeit gestützte Deutung derselben, so müssen sich deren Bedingungen als Vorrichtungen darstellen, welche Wechselwirkungen der beiden Erregungen, ohne sie selbst zu leiten, vermitteln*). Zunächst könnte man nun hier an eine durch reflektorische Innervation der Binnenmuskeln der Gehörorgane vermittelte Einwirkung denken. Wir wissen, dass die Kontraktion dieser Muskeln keineswegs ohne Einfluss auf die Tonwahrnehmung ist; so schwächt nach Kessel⁵⁴⁾ (1891) eine Kontraktion des Tensor vorwiegend die Töne des unteren Hörbereichs

*) Für die Existenz solcher Vorrichtungen spricht vielleicht auch die von Stumpf²²⁾ (II. 443) citierte Beobachtung von Gradenigo, dass bei Galvanisierung des einen Ohres sich zwar ein Einfluss auf das andere bemerkbar machte, der sich aber nicht in einer Schallempfindung desselben äußerte.

54) Kessel, Über die vordere Tenotomie. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 31, p. 131. 1891.

(8—64 Schwingungen), während umgekehrt eine solche des Stapedius besonders die des oberen jenseits c^4 verstärkt. Für den Tensor scheint nun in der That durch Stricker⁵⁵⁾ (1886), der am Hunde bei akustischer Reizung des einen Ohres eine Reaktion des tensor tympani in dem anderen bemerkte, die Rolle eines Vermittlers für Intensitätsmodifikationen von Ohr zu Ohr erwiesen. Seiner Innervierung soll wohl die Reflexbahn dienen, welche im mittleren Grau der vorderen Vierhügelregion entspringend nach der medulla oblongata zu absteigt; denn nach Durchschneidung der letzteren fiel jene Reaktion weg*). Traf aber in obigem Versuche der akustische Reiz, was sehr wahrscheinlich ist, nicht bloß eines der Ohren, so vermag jenes Resultat nur von neuem die Thatsache einer monotischen, nicht aber die einer gekreuzten Reflexbeziehung zwischen akustischem Reiz und Tensorkontraktion zu bestätigen. Aber die Hypothese der „binauriculären Reflexe“ kann noch andere Autoren zu ihren Vertretern zählen, so namentlich

*) Näheres über die Wirkung des akustischen Reizes auf den Tensor der anderen Seite kann bisher höchstens aus Beobachtungen am gleichseitigen erschlossen werden. Hiernach soll die Kontraktion des Tensor bei Schallreizen verschiedener Höhe verschieden stark sein (Mach⁵⁶⁾ 1863), auch noch nach Loslösung desselben von der Sehne erfolgen (Hensen⁵⁷⁾ 1880) und so lange wie der Reiz selbst anhalten (Bockendahl⁵⁸⁾ 1880). Aber Secchi⁵⁹⁾ (1890) fand diese Reaktion des Tensor in seinen Versuchen nur bei Reizen, welche die Aufmerksamkeit des Tieres erregten.

55) Stricker, Wiener medicinische Presse. 1886, p. 650. (Citirt nach Stumpf, Tonpsychologie, Bd. II. p. 445. Anm.)

56) Mach, Zur Theorie des Gehörorgans. Sitz.-Ber. d. Wien. Akad. d. Wiss. math.-naturwiss. Kl. Bd. 48, Abt. 2, p. 283. 1863.

57) Hensen, Physiologie des Gehörs; in Hermann, Handbuch der Physiologie. Bd. III. 2, p. 64 und p. 450. 1880.

58) Bockendahl, Über Bewegungen des M. tensor tympani nach Beobachtungen beim Hunde. Dissertation. Kiel 1880.

59) Secchi, Physiologische Untersuchungen über das mittlere Ohr. Vortrag. Bologna 1890. (n. R.)

Gellé⁶⁰⁾ (1884), der daraus die Erscheinung erklärt, dass ein durch Gummischlauch einem Ohre zugeleiteter Ton jedesmal schwächer empfunden wird, wenn man die Luft im Gehörgang des anderen mittelst Gummiballons komprimiert. Auch er konstatierte bei Läsionen des Cervicalmarkes⁶¹⁾ (1888) öfter den Wegfall der Schwächung. Wie freilich eine bloße Drucksteigerung im Gehörgang die Reflexe auslösen kann, ist mir nicht recht verständlich. Auch giebt Bloch⁶²⁾ (1894) unter Hinweis auf die Unzulänglichkeit der klinischen Erfahrungen Gellé's eine andere und, wie ich meine, ganz annehmbare Erklärung der obigen Erscheinung, indem er, auch gestützt auf die Erfahrung, dass letztere ebenso bei Zuleitung des Schalles durch den Kopfknochen erfolge und dass dabei der Tonort nach dem freien Ohre zu wandere, hier eine Auslöschung des übergeleiteten Tones annimmt, womit dann zugleich die Verstärkung weg falle, welche dem binauralen Hören eigen sei. Auf vermehrte akustische Beihülfe von der anderen Seite ist vielleicht auch die Perceptionssteigerung, welche Urbantschitsch²⁹⁾ (1893) in pathologischen Fällen öfter an dem gesunden Ohre nach operativem Eingriff in den Schallleitungsapparat des kranken nachweisen konnte und aus der Beseitigung der in einer reflektorischen Kontraktion bestehenden Wirkung der Erkrankung auf die Binnenmuskeln des gesunden Ohres erklären möchte, zurückzuführen, natürlich vorausgesetzt, dass die Hörverbesserung im kranken überhaupt oder wenigstens für die Kopfknochenleitung sofort erfolgt. Die Einwirkung von Erregungen des einen Ohres

60) Gellé, Über funktionelle Synergie beider Ohren; Studien über die Accommodation der Ohren. *Revue mens. d'Otol. etc.* Mai 1884. (n. R.)

61) Gellé, Des réflexes auriculaires; d'un centre réflexe oto-spinal, de son siège dans la moëlle cervicale. *Annales des maladies de l'oreille.* 1888. No. 9. (n. R.)

62) Bloch, Die Methode der centripetalen Pressionen und die Diagnose der Stapesfixation. *Zeitschr. f. Ohrenheilk.* Bd. 25, p. 113. 1894.

auf den Tensor und vermittelt dessen auf akustische Reize des anderen scheint mir nach alledem noch nicht mit Sicherheit angenommen werden zu können. Aber selbst für den Fall, dass dieselbe sich bestätigte, würde sie doch schwerlich zur Erklärung der oben besprochenen ständigen Intensitätsmodifikationen ausreichen, da sie ja wohl nur eine Schwächung und auch diese nur in tieferen Lagen des modifizierten Reizes bedingen könnte. Urbantschitsch behauptet übrigens²⁹⁾ (1893), jene Intensitätsmodifikationen auch in Fällen beobachtet zu haben, wo die Muskelkontraktion keinen Einfluss auf die Reizleitung haben konnte. Aber welche andere Verbindung beider Gehörorgane sollen wir als Grundlage jener Erscheinungen ansehen? Urbantschitsch ist wohl auf Grund der Beobachtung, dass eine Erregung der sensiblen Trigeminafasern der einen Seite auf sämtliche Sinnesempfindungen auch an der anderen nicht gereizten Seite verstärkend einwirke, zu der Annahme geneigt, dass derartige Beziehungen durch den Trigeninus vermittelt werden. Vielleicht lässt sich auch die Kreuzung gewisser Akustikuszweige oder ihre verschiedentliche Verbindung durch Kollateralen zumal in der Vierhügelgegend, oder endlich ihre beiderseits stattfindende Vereinigung in der Großhirnrinde als Grundlage der ständigen Intensitätsmodifikationen in Anspruch nehmen. Ob aber, bezüglich inwieweit die eine oder die andere dieser möglichen Annahmen zutreffend sei, ist natürlich nur durch erneute anatomische und physiologische Untersuchungen zu entscheiden.

B. Die Modifikationen der Qualität.

Über diese Klasse von Beziehungserscheinungen ist nicht viel zu sagen, da nur ganz vereinzelte Beobachtungen von Qualitätsmodifikationen vorliegen. Doch lassen sich wohl mit

Sicherheit zwei Arten derselben unterscheiden, nämlich Modifikationen der Klangfarbe und der Tonhöhe; jene lassen sich aller Wahrscheinlichkeit nach auf Intensitätsmodifikationen der ersten Art, diese vielleicht auf solche der zweiten zurückführen.

1. Modifikationen der Klangfarbe.

Von einer derartigen Erscheinung berichtet Thompson¹²⁾ (1877). Er vernahm nämlich bei Schwebungen immer in dem Augenblicke, wo die Phasen der beiden getrennt zu den Ohren geleiteten Töne gerade entgegengesetzte waren, neben dem Grundtone ganz schwach dessen Oktave, und bemerkt dazu, dass sich dieselbe nicht etwa schon unter den Partialtönen der Gabeln befunden habe.

Wenn dem wirklich so ist, nimmt uns die Erscheinung doch einigermaßen wunder und erinnert an die Seebeck'sche Annahme, dass für den Fall einer centralen Interferenz bei alternierenden Impulsen die Oktave zu erwarten sei. Da aber hier die Oktave nur nebenbei auftritt, so müssten wir schon annehmen, dass die Impulse mit sehr geringer oder doch sehr verschiedener Intensität zur Interferenz gelangen. Einfacher freilich erklärt sich die Sache unter der Annahme, dass die Oktave sich bei diesem Versuche schon in den Stimmgabelklängen befunden habe; durch die Interferenz noch verstärkt konnte sie dann samt den übrigen geradzahligen Partialtönen vor den geschwächten ungeradzahligen sehr wohl deutlich hervortreten. Dass sie aber selbst bei Untersuchung der Gabelklänge mit Hülfe von Resonatoren leicht der Beobachtung entgehen kann, bestätigt Stumpf²²⁾ (II. 233 f.), welcher die Oktave in solchen Fällen trotzdem noch mit einer nahezu gleichgestimmten Hülfs gabel oder mit einer Quincke'schen Interferenzröhre, die den Grundton auslöschte, sicher nachweisen konnte.

Urbantschitsch⁴⁷⁾ (1883) beobachtete bei seinen Versuchen über die binaurale Hörverstärkung, dass jeder Ton beim diotischen Hören nicht nur stärker, sondern auch voller sei als beim monotischen, und einem Orgelton ähnlich klinge.

Letzteres könnte darauf hindeuten, dass hierbei die hohen und ziemlich starken Obertöne der Stimmgabeln zurücktreten oder verschwinden, was freilich wohl nur infolge von Interferenz möglich wäre. Das Zustandekommen einer solchen durch Luftüberleitung der Töne von einer Seite zur anderen kann allerdings in jenen Versuchen auch nicht als ausgeschlossen gelten.

Auch Bloch³²⁾ (1893) bemerkte, wie Urbantschitsch, dass der Ton zweier gleichgestimmter Gabeln monotisch gehört viel dünner erschien als beim diotischen Hören, wo er außerordentlich voll und rein klang. Gleiche Phase beider Töne schien aber im letzteren Falle Voraussetzung zu sein; denn bei entgegengesetzter fand er gleich Thompson den Ton rauh, schnarrend und leicht näselnd, doch konnte er diesen Qualitätsunterschied nur innerhalb der Region zwischen c und c^2 (128 bis 512 Schw. p. s.) deutlich erkennen. Ähnlich wie der Grundton auslisch und die Obertöne scharf hervortreten — (doch nicht dann!) —, wenn man die in entgegengesetzten Phasen schwingenden Telephone durch einen T-förmigen Gummischlauch mit einander verbindet, meint er, vollziehe sich auch dort die analoge Erscheinung: »beim binotischen Hören tritt zwar dieses Auslösch des Grundtones nicht ein, dafür aber die Änderung der Qualität.«

Ob bezüglich in welcher Weise sich Bloch trotz dieser Abweichung die Analogie erhalten denkt, ist aus seiner Ausführung freilich kaum ersichtlich. Da Bloch seine Versuchsanordnung der Thompson'schen nachgebildet hat, so ist wohl

anzunehmen, dass auch bei ihm jeder Ton nur zu einem Ohre gelangte.

Versuchen wir es nun, diese Modifikationen der Klangfarbe beim diotischen Hören gegenüber dem monotischen, da dieselben ja auch in ihren Besonderheiten von der Phasendifferenz des Reizes in beiden Ohren abhängig erscheinen, überhaupt aus Interferenz der beiderseitigen Erregungen zu erklären (und auf andere Weise dürfte dies schwerlich gelingen), so greift folgende Überlegung Platz: Wenn in einem Ohre ein Einzelklang mit einem anderen von gleicher Wellenform in gleicher Phase interferiert, so erscheinen alle Partialtöne desselben, wenn in entgegengesetzter (der Grundtöne), nur die geradzahligen verstärkt, die ungeradzahligen aber geschwächt, wenn endlich in absolut entgegengesetzter, — ein Fall, der von Bloch mit Hülfe Bell'scher Telephone verwirklicht wurde, — so erscheinen alle Partialtöne geschwächt oder ausgelöscht. Die geringste Phasenverschiebung der Grundtöne von hier aus bewirkt nun eine mit der Höhe der Partialtöne wachsende Abnahme und Umkehrung ihrer Intensitätsmodifikationen, wie sie durch die Interferenz (der Grundtöne) in genau gleichen bezüglich entgegengesetzten Phasen herbeigeführt wurden. Bei welchem Partialtone diese durch die Phasenverschiebung der Grundtöne hervorgerufene Änderung ein Maximum erreicht, hängt natürlich (eine einzige Schallquelle vorausgesetzt) durchaus von der Längendifferenz beider Wege der Klangwellen bis zum Interferenzorte ab; es ist derjenige, dessen halbe Wellenlänge dem Werte dieser Differenz am nächsten kommt. Die Klangfarbe beim diotischen Hören eines in gleichen bezüglich entgegengesetzten Phasen zu den Ohren geleiteten Einzelklanges entspricht nun — und dies ist ja besonders deutlich bei der ersten Art der Zuleitung bemerkt worden — nicht derjenigen, welche nach einer Interferenz der beiderseitigen Erregungen unter eben diesen, sondern

unter etwas von ihnen abweichenden Phasendifferenzen zu erwarten ist. Sonach ist wohl der Schluss gestattet, dass beim diotischen Hören die beiden Schallerregungen trotz ihrer genau gleichen beziehentlich entgegengesetzten Phasen bei der Zuleitung doch mit einer um ein Geringes von 0 oder $\frac{1}{2}\lambda$ (des Grundtones) verschiedenen Phasendifferenz zur Interferenz gelangen müssen, d. h. also der Weg, den die beiden Erregungen und zwar (vorausgesetzt, dass jede nur zu einem Ohre gelangt) innerhalb des Organismus bis zu diesem Interferenzorte zurückzulegen haben, ist für die eine länger als für die andere. Aber für welche länger und für welche kürzer? — Man sieht, es bleibt nichts übrig, als zwei Interferenzorte anzunehmen, die beide und zwar auf verschieden langen Wegen von jeder der beiden Erregungen erreicht werden. Hiermit wird zugleich unter den beiden Möglichkeiten hinsichtlich der örtlichen Verhältnisse der Interferenzvorgänge, auf welche wir oben (pag. 40) aus der geringeren Stärke der diotischen Schwebungen geschlossen haben, zu Gunsten der zweiten entschieden. Dass die Analogie zwischen den gesuchten und den von den Anhängern der Kopfknochenleitung gebilligten lokalen Bedingungen der diotischen Interferenzvorgänge hierdurch eine weitere nicht unwichtige Stütze erhält, bedarf wohl kaum erst der Erwähnung.

2. Modifikationen der Tonhöhe.

Urbantschitsch⁴⁷⁾ (1883) will beim diotischen Hören eines Tones mit der Verstärkung und Klangfarbenänderung auch immer eine deutliche Vertiefung desselben um ca. $\frac{1}{8}$ Ton bemerkt haben, erklärt die letztere jedoch im Anschluss an Mach nur für eine scheinbare.

In der That könnte das Zurücktreten der Obertöne den Eindruck der Vertiefung erwecken, wenn die letztere nicht auch

wirklich aus der Verstärkung resultiert, etwa in der Art, wie dies Schwarz⁶³⁾ (1892) annimmt.

Eine andere sehr interessante Art von Tonhöhenänderung hat Stumpf²²⁾ beobachtet. Verteilte er (II. 326) zwei wenig verschiedene c^2 -Gabeln vor die Ohren, so hatte er öfters den Eindruck, als höre er einen mittleren Ton, obschon meist der tiefere vorherrschte. Dementsprechend bemerkte er bei Entfernung der tieferen Gabel eine entschiedene Erhöhung der Tonempfindung, seltener dagegen eine Vertiefung derselben bei Entfernung der höheren Gabel. Mit Vergrößerung des Intervalls beider Töne, wobei natürlich jene Wahrnehmung eines mittleren Tones verschwand, schien ihm die Deutlichkeit einer solchen Höhenannäherung beider Töne eher zu wachsen als abzunehmen. So vernahm er z. B. (II. 397) den Ton einer e -Gabel, die vor das eine Ohr gehalten wurde, bei Zuleitung eines A zum anderen Ohre deutlich vertieft, und umgekehrt A erhöht, sobald das andere Ohr e hörte. Dasselbe fand statt bei Anwendung von Gabeln, welche die Quinte $c-g$, ja selbst die Septime $A-g$ gaben; nur trat in letzterem Falle die Erscheinung vornehmlich an g , weniger deutlich an A auf. In höheren Lagen aber ist dieselbe nicht mehr zu beobachten, weil, wie Stumpf meint, »hier Veränderungen merklicher und somit auch die Konstanz deutlicher ist.« Auch verschwinde die Erscheinung, »wenn man seine Aufmerksamkeit durch den neuen Ton nicht ablenken lässt, sondern auf den alten konzentriert hält.« Er führt deshalb die obigen Erscheinungen auf bloße Urteilstäuschungen zurück.

Das oben bemerkte Vorherrschen des tieferen Tones im Zusammenklange beider kann vielleicht nicht unpassend als ein

63) Schwarz, Das Wahrnehmungsproblem vom Standpunkte des Physikers, des Physiologen und des Philosophen. § 15. Leipzig. 1892.

Analogon zu der von Urbantschitsch beobachteten Vertiefung beim diotischen Hören eines Tones aufgefasst werden.

Die Stumpf'sche Deutung seiner Beobachtungen scheint mir aber nicht recht zufriedenstellend, während ich zugleich eine physiologische Erklärung hier keineswegs für ausgeschlossen halte. Der folgende Versuch einer solchen will aber darum nicht mehr sein als eine Vermutung.

Wir glaubten oben den auf ständige Intensitätsmodifikationen bezüglichen Erfahrungen die Thatsache entnehmen zu können, dass die bei gleicher Qualität der beiden Erregungen ziemlich beträchtliche Verstärkung mit dem Wachsen ihrer Distanz abnimmt und sich allmählich in eine Schwächung verwandelt, die sich dann erst mit weiterer Vergrößerung des Intervalls langsam verliert. Löst nun jeder der beiden Reize neben einer entsprechenden Erregung, welche als stärkste zugleich die Höhe der korrespondierenden Empfindung bestimmt, eine Reihe qualitativ und intensiv zunehmend differenter Erregungen aus (eine Annahme, die freilich noch etwas hypothetisch ist), so wird beim Auftreten derartiger Intensitätsmodifikationen, gleichviel, ob sie in Verstärkung oder Schwächung bestehen, sobald nur der modificierende Reiz alle Teile bis zur Haupterregung des modificierten mehr verstärkt bezüglich weniger schwächt als diese selbst, ihre Rolle auch von einer dem modificierenden Reize qualitativ näher stehenden Teilerregung übernommen werden.

Das Fehlen dieser Tonhöhenänderung bei Anwendung höherer Töne*) scheint mir aber ebensowenig, wie ihr Verschwinden bei Konzentration der Aufmerksamkeit auf einen der Töne einen triftigen Einwand gegen diese physiologische Erklärung der Erscheinung zu bilden; denn einerseits sind mit der Annahme jener

*) In der zweigestrichenen Oktave wurde sie übrigens noch bemerkt.

doch keineswegs schon sämtliche Bedingungen für die Deutlichkeit der letzteren fixiert, andererseits halte ich das Hervorheben eines sonst zurücktretenden Tones auch nicht für eine ungewöhnliche Thätigkeit der Aufmerksamkeit.

C. Die Modifikationen der Lokalisation.

Um etwaigen zu weit gehenden Erwartungen zu begegnen, möchte ich gleich eingangs dieses Abschnittes darauf hinweisen, dass hier nur Besonderheiten der Lokalisation beim diotischen Hören, keineswegs aber dessen Leistungen für die Raumwahrnehmung zur Besprechung gelangen werden, was ja auch schon die Fassung des Themas dieser Arbeit ausschließt.

Mögen auch vereinzelte Bemerkungen über eine besondere Lokalisation diotischer Schallwahrnehmungen namentlich von Ohrenärzten schon früher gemacht worden sein*), so verdanken wir doch meines Wissens erst Purkyně⁶⁴⁾ (1860) eine genauere Untersuchung der hier zu besprechenden Erscheinung. Er bemerkte, dass ein Ton oder ein Geräusch, beiden Ohren vermittelt zweier Hörrohre, deren Enden nahe an einander gebracht waren, zugeleitet, eine einheitliche Empfindung gab, die in dem Hinterkopf lokalisiert wurde. Sprachen ferner zwei Personen zugleich in einen Trichter, von welchem Röhren zu den beiden Ohren führten, so verschmolzen gleiche Laute, während verschiedene an eben derselben Stelle deutlich unterschieden gehört wurden; öfter

*) Auch bei Fechner⁷⁾ (1860) scheint sich in der Angabe, dass man, gleiche Empfindlichkeit beider Ohren vorausgesetzt, bei gleich starker Reizung derselben mit dem gleichen Tone keine Veranlassung habe, den letzteren mehr auf das eine oder andere Ohr zu beziehen, eine solche Beobachtung anzudeuten.

64) Purkyně, Untersuchungen über das Gehör. Prager Vierteljahrschrift. Bd. 67, p. 91. 1860.

schiene auch zwei verschiedene Vokale, wie *e* und *a*, *o* und *a*, *i* und *u* u. s. w., dort in einen Diphthong zusammenzufließen. Leute, die auf einem Ohre taub oder schwerhörig waren, vernahmen bei dem obigen Versuche, den Purkyně wohl überhaupt zur Orientierung über das Verhältnis der Hörfähigkeit beider Ohren zu benutzen pflegte, den Schall entweder nur im anderen Ohre oder zwischen diesem und der Medianebene. Den Grund, weshalb oben der kombinierte Eindruck in den Hinterkopf verlegt wurde, glaubt er (etwas kühn) in der Lagerung sowohl der wichtigsten Membranen (die Vertikalen auf dem Trommelfell und Steigbügel weisen dorthin), als auch der Nerven- ausbreitung zu finden.

Thompson¹²⁾ (1877) nahm auch bei schwebenden Tönen, welche getrennt je zu einem Ohre gelangten, eine Lokalisation der Stöße in der oberen Region des Kleinhirns wahr; ja selbst die bei Anwendung von *e*¹ und *g*¹ von ihm beobachtete rauhe, knarrende Empfindung schien dort ihren Sitz zu haben.

Die folgende Arbeit Thompson's¹⁶⁾ (1878), aus welcher übrigens hervorzugehen scheint, dass oben unter den Stößen (beats) die im Verlaufe der Schwebungen erfolgenden Abschwächungen der Empfindungsintensität zu verstehen sind, ist vorwiegend der Untersuchung dieser beim diotischen Hören auftretenden Lokalisationerscheinungen gewidmet. Indem er zunächst einen beliebigen Schall mit Hülfe zweier Bell'scher Telephone, bei denen durch Umkehrung der Stromrichtung auch eine solche der Schwingungsrichtung der Platten erzielt werden kann, zu den Ohren einmal in gleichen, das andere Mal in entgegengesetzten Phasen gelangen ließ, bemerkte er, dass nur in letzterem Falle jene Lokalisation des Schalles im Hinterkopfe auftrat, während im ersteren derselbe wie gewöhnlich in beiden Ohren gehört wurde, ein Unterschied, auf den wohl auch Hughes

schon seine Probe auf die richtige Justierung je zweier Empfangstelephone stützte. Die Empfindung beim Klopfen an ein in den Stromkreis geschaltetes Mikrophon vergleicht Thompson ferner mit Stößen gegen die beiden Trommelfelle bezüglich Hammer schlägen gegen die Innenseite des Hinterhauptbeines. Übrigens welche Qualität und Klangfarbe der verwendete Schallreiz auch haben mochte, die Lage seines akustischen Bildes im Hinterkopfe war unveränderlich. Bei anderen Phasendifferenzen beider Reize, welche Thompson unter Anwendung von Stimmgabeltönen durch Einführung verschiedener Längendifferenzen der Zuleitungsschläuche als ständige, durch geringe Verstimmung der einen von zwei gleichen Gabeln als periodisch wechselnde erhielt, bemerkte er gleichzeitig die beiden obigen Lokalisationstypen; doch trat je nach dem Maße der Annäherung der Phasendifferenz an die Werte 0 oder $\frac{1}{2}\lambda$ der erste oder zweite mehr hervor. Ebenso durchlief, wenn eine Gabel, zuerst auf die Mitte eines in beide Gehörgänge führenden Kupferdrahtes gesetzt, um $\frac{1}{2}\lambda$, — für $c^1 = 256$ Schw. übrigens nur $1\frac{1}{3}$ Zoll betragend — seitlich verschoben wurde, die Lokalisation des betreffenden Tones alle jene Phasen von der rein seitlichen bis zur rein mittleren. Bei allmählicher Schwächung des einen von zwei ursprünglich gleichen Tönen, die durch Vermittelung von Gummischläuchen oder Telephonen zu den Ohren gelangten, wurde, je nachdem dies in gleichen oder entgegengesetzten Phasen geschah, der Ton entweder immer mehr und endlich allein in dem stärker erregten Ohre gehört, oder er wanderte, von der Medianebene ausgehend, rund um den Hinterkopf bis in das konstant gereizte Ohr. Endlich fand Thompson, dass auch bei gleichzeitiger Zuleitung mehrerer verschiedener Töne die nach der Phasendifferenz ihrer Zuleitung zu beiden Ohren für jede zu erwartende Lokalisation keinerlei Modifikation erleide. Aus dieser Beobachtung meint Thompson schließen zu

können, dass das diotische Hören die dem monotischen nach Helmholtz nicht zukommende Fähigkeit besitze, uns mittelst der selbständigen Lokalisation der Teiltöne eines Klanges über die Phasendifferenz derselben zu orientieren. Dass auch Differenztöne mit den anderen die Eigentümlichkeiten der diotischen Lokalisation teilen, ergab sich daraus, dass bei Zuleitung der kleinen Terz $e^1 g^1$ zu beiden Ohren vermittelt der in entgegengesetztem Sinne eingeschalteten Telephone mit den Primärtönen auch ihr Differenzton C im Hinterkopfe lokalisiert erschien. Darüber wie die einheitliche Lokalisation überhaupt zu erklären sei, ob physikalisch, physiologisch oder psychologisch, d. h. rein associativ, konnte Thompson jedoch nicht zu einem Schlusse gelangen.

Zunächst fällt an diesen Mitteilungen Thompson's auf, dass sie mit denen Purkyně's, obwohl, so weit sich erkennen lässt, mit ihnen hinsichtlich der beobachteten Erscheinungen selbst ziemlich in Übereinstimmung, doch, was die Angabe ihrer Bedingungen betrifft, total im Widerspruch stehen. Denn dass, wie letzterer angiebt, ein Schall, welcher (unter Zurücklegung gleicher Wege von der Schallquelle aus) in gleichen Phasen zu beiden Ohren gelangt, in den Hinterkopf verlegt werde, negiert Thompson durchaus. Der Widerspruch ist schwer zu lösen; zu Zweifeln an den Beobachtungen haben wir keine Berechtigung, zu solchen an der Gleichheit ihrer subjektiven Bedingungen keinen Anlass; sonach könnte die Ursache desselben nur in versteckten Unterschieden der Versuchsanordnungen beider Autoren gesucht werden. Bei derjenigen Purkyně's würde nun aber die wohl einzig mögliche Annahme, dass die Röhren, über welche sonst nichts gesagt ist, vielleicht verschiedene Länge oder unregelmäßige Krümmungen hatten, gegenüber der Beobachtung, dass auch durch diese Röhren zugeleitete artikulierte Laute in den Hinterkopf lokalisiert wurden, gar nichts helfen;

denn eine solche Umkehrung der Schwingungen, wie sie stattfinden müsste, wenn die Zuleitung solcher Laute zu den Ohren in entgegengesetzten Phasen erfolgen sollte, ist bei einer derartigen Versuchsanordnung undenkbar. Wie aber nun bei Thompson, wo sich in drei verschiedenen Versuchsanordnungen derselbe Fehler finden müsste? Wenn Zuleitung eines Schalles in gleichen Phasen beabsichtigt war, müsste sie infolge der Konstruktion oder Einschaltung der Telephone, oder infolge von beiderseits verschiedenen Zerrungen und Krümmungen der Gummischläuche, die allerdings wohl in ein anderes Zimmer führten, oder endlich infolge unsymmetrischer Biegung des Kupferdrahtes immer in entgegengesetzten Phasen stattgefunden haben. Aber wie hätte dies dem Physiker entgehen können? Übrigens ist, nach den Thompson'schen Angaben zu schließen, der spezielle Charakter der Lokalisationserscheinungen nur von der Größe der Phasendifferenz d. h. dem kleinsten Abstände gleicher Phasen abhängig, gleichviel welcher von beiden Reizen deren Minuend und welcher deren Subtrahend stellt. Auch mit der Bemerkung Thompson's, dass wir im diotischen Hören ein Mittel zur Erkennung der Wellenform eines Klanges besäßen, kann ich mich durchaus nicht einverstanden erklären. Wir erfahren meines Erachtens vermittelt der selbständigen Lokalisation der Teiltöne eines solchen höchstens, wie verschieden, nicht aber, wie groß beiderseits die Phasendifferenz sei, in welcher jeder der Partialtöne zu den übrigen steht.

Tarchanow⁴¹⁾ (1878) bemerkte ferner, dass die Medianlokalisation beim diotischen Hören selbst eines ganz schwachen, monotisch kaum oder gar nicht mehr hörbaren Schalles auftrete, jedoch auch schon durch den geringsten Unterschied in der Hörschärfe beider Ohren oder in der Intensität der beiderseitigen Erregungen unmöglich gemacht werde. Brachte er die beiden Telephone in verschiedene Entfernungen von den Ohren,

so schien sich der Ton bei allmählicher Annäherung des entfernteren von den beiden Ohren in den Kopf zurückzuziehen.

Dieser letztere Versuch, in welchem anfänglich nicht nur die Intensitäten sondern auch die Phasen der beiderseitigen Erregungen einen Unterschied aufweisen, der erst durch die Annäherung des einen Telephons ausgeglichen wird, ähnelt hinsichtlich des Resultates einem der Thompson'schen, nur dass sich dort umgekehrt die doppelseitige Lokalisation bei der Phasendifferenz 0 fand und die Medianlokalisation durch Annäherung ihres Wertes an $\frac{1}{2}\lambda$ erreicht wurde, — also derselbe Gegensatz, wie er auch zwischen Thompson's und Purkyně's Versuchen besteht.

Preyer⁴²⁾ (1879) findet die Angaben Tarchanow's bestätigt und bemerkt dazu, dass ihm selbst der Ort des in der Medianebene lokalisierten Tones dort zu wandern schien.

Leider hat er sich nicht über die mutmaßlichen Ursachen dieser Erscheinung geäußert.

Dass ferner Körting⁴³⁾ (1879), der in derselben Weise, wie die vorigen, 273 Personen mit normalem Gehör untersuchte, an 267 derselben diese interaurale Lokalisation konstatieren konnte, lehrt, dass sie eine durchaus reguläre Begleiterscheinung diotischer Wahrnehmungen sei.

In einer weiteren Arbeit weiß Thompson¹⁷⁾ (1881) von einem Wandern der Lokalisation von Ohr zu Ohr, welches langsame periodische Änderungen der Phasendifferenz d. h. Schwebungen zweier nahezu gleicher Töne begleiten soll, zu berichten. Standen die zu den Ohren geleiteten Töne in Oktavenintervall, wobei nur der tiefere Ton auf der einen Seite merkbar schwebte, so war ein ähnliches Wandern der Lokalisation desselben zu bemerken, doch bewegte sich letztere in etwas engeren Grenzen,

nämlich nur von dem betreffenden Ohre zum Hinterkopf und zurück.

Diese neuen Beobachtungen über diotische Lokalisation stehen nun aber mit den früheren nicht recht im Einklang, nach denen bei Schwebungen zwar auch ein Lokalisationswechsel zu erwarten wäre, aber anstatt in dieser extensiven Beziehung vielmehr in intensiver durch alternierendes Hervortreten einer doppelseitigen und einer mittleren Lokalisation. Auch was oben betreffs der Beziehung zwischen Lokalisation und Phasendifferenz gesagt wurde, stimmt hier nicht mehr; die bei der maximalen Phasendifferenz erfolgende Zeichenänderung oder besser Vertauschung von Minuend und Subtrahend kann nicht ohne Einfluss auf die Lokalisation sein; den seitlichen Lokalisationen müssten denn gerade die minimalen und maximalen Phasendifferenzen entsprechen, die sich dann freilich immer in einer ähnlichen Lage wie Buridan's Esel befänden. Jedenfalls läge es näher, in den Lokalisationsverschiebungen von Ohr zu Ohr den Phasendifferenzen 0 bezüglich $\frac{1}{2} \lambda$ oder beiden die mittleren, den übrigen aber je nach ihren Vorzeichen die rechts- oder linksseitigen Lokalisationen entsprechen zu lassen.

Zum Schluss berichtet Thompson noch von einer eigentümlichen Beobachtung, dass nämlich ein beiden Ohren in gleicher Stärke zugeleiteter Schall nach Ermüdung eines Ohres für denselben jedesmal mehr von der Seite des anderen zu kommen schien.

Eine Reihe weiterer Beobachtungen von diotischen Lokalisationserscheinungen teilt ferner Urbantschitsch⁴⁸⁾ (1881) mit. Unter gleichzeitiger Zuleitung qualitativ verschiedener Töne je zu einem Ohre fand sich bei keiner einzigen Versuchsperson eine einheitliche Lokalisation, wohl aber meist unter diotischer Zuleitung desselben Tones vermittelt eines verzweigten

Gummischlauches, — dessen Zweige jedenfalls gleich lang waren. Manchmal trat freilich auch hier eine doppelte Lokalisation des Tones auf, die, ursprünglich in den Schläfengegenden, bei Verstärkung desselben sich häufig beiderseits der Mittellinie näherte, ja sogar dort zu einer einheitlichen verschmolz. Seltener und nur mit besonderer Aufmerksamkeit wurde neben den zwei parietalen Hörfeldern noch ein drittes in der Medianebene wahrgenommen. Die reguläre einheitliche Lokalisation aber hatte, wenn die beiderseitigen Reize gleiche Empfindungsstärke besaßen, ihren Platz in der Medianebene; Urbantschitsch freilich will sie dort auch manchmal bei beträchtlichem Hörunterschiede beider natürlich gleich stark gereizter Ohren beobachtet haben. Innerhalb der Medianebene wieder fand er denselben Ton bei derselben Person immer gleich, bei verschiedenen Personen jedoch sehr verschieden lokalisiert (z. B. Hinterkopf, Scheitel, Stirn, Nase, Pharynx etc.). Hatten die beiderseitigen Reize ungleiche Empfindungsstärke, so erschien diese einheitliche Lokalisation von der Medianebene nach dem stärker erregten oder besser hörenden Ohre verschoben. Auch nach vorheriger Ermüdung eines der Ohren durch denselben Ton war diese Verschiebung der Lokalisation nach dem anderen Ohre zu bemerken; sie wanderte dann mit Ablauf der Ermüdung wieder in die Medianebene. In der Größe der Verschiebungen aber fand Urbantschitsch wieder, trotz sonst gleicher Verhältnisse, manche individuelle Unterschiede. Die Art der Lokalisation (einfach oder doppelt), sowie ihre interaurale Lage bei diotischer Zuleitung des Prüfungstones wurde ferner bei verschiedenen Qualitäten desselben nicht selten verschieden, der spezielle Ort der Medianlokalisation sogar selten gleich gefunden. Letzterer rückte meist mit der Tonhöhe wagrecht von hinten außen nach vorn in die Stirn, auch senkrecht von oben außen nach unten in die Kopfmittle, aber fast nie umgekehrt. Dabei waren die

Ortsunterschiede von Ton zu Ton manchmal kaum bemerkbar, manchmal beträchtlich, und die einzelnen Hörfelder dementprechend das eine Mal in einander übergreifend, das andere Mal getrennt.

Trotz dieser Fülle von Beobachtungen dürfte es hier kaum schon gelingen, ein klares Bild von den Verhältnissen zu entwerfen, zumal Urbantschitsch die häufigen individuellen Unterschiede, von denen er berichtet, wie die Arten einer Gattung als einander koordiniert anzusehen scheint, wenigstens nirgends andeutet, in welchem Verhältnis die selteneren Erscheinungsformen zu den häufigeren stehen, geschweige denn dass er sich über die mutmaßlichen Ursachen der Abweichungen ausspricht. Wir werden aber vielleicht nicht fehlgehen, wenn wir dieselben im Hinblick darauf, dass die Versuchspersonen wohl teilweise Patienten waren, als pathologische auffassen. Unter den übrigen sonach als normal anzusehenden Erscheinungen weichen aber wieder verschiedene von den unter ähnlichen Umständen von Thompson beobachteten ab: so vor allem bei diotischer Zuleitung eines Tones in gleichen Phasen — und letztere Bedingung scheint mir bei den obigen Versuchen, wenn auch vielleicht infolge der Anwendung von Gummischläuchen aus schon mehrfach angegebenen Gründen nicht exakt, so doch jedenfalls annähernd erfüllt, — die schon von Purkyně behauptete einheitliche Lokalisation und für den Fall ihres Auftretens ihre Lageverschiedenheit bei verschiedener Qualität des Prüfungstones, eine Angabe, die sich wohl auf ein größeres Beobachtungsmaterial stützt, als die widersprechende Thompson's. Um uns aber diese und andere Erscheinungen sowie deren individuelle Abweichungen nur einigermaßen verständlich zu machen, müssten wir uns weiter, als es erlaubt ist und sich lohnt, auf hypothetisches Gebiet begeben.

Dass zur Entstehung einer interauralen Lokalisation neben der Wahrnehmung eines Schalles einerseits auch schon eine unbewusste akustische Empfindung desselben im anderen Ohre genüge, glaubte Urbantschitsch ⁴⁸⁾ (1881) aus seinem schon oben (pag. 59) beschriebenen Versuche schließen zu können. Doch macht wohl die naheliegende Annahme Bloch's, dass jene unbewusste akustische Empfindung unter der Einwirkung der starken Erregung des anderen Ohres über die Schwelle der Wahrnehmung gehoben werde, eine solche Erweiterung des Kreises der Bedingungen für die interaurale Lokalisation unnötig. Interessant ist jedoch die Beobachtung, dass die Lokalisationsverschiebung sowohl beim Beginn als beim Aufhören der Zuleitung des schwächeren Schalles sich nicht plötzlich, sondern innerhalb 1—3 Sekunden vollzog, dass also das An- und Abklingen akustischer Empfindungen für die Lokalisation denselben Erfolg hatte, wie eine Steigerung oder Abnahme der Reizintensität.

Kessel ⁴⁴⁾ (1882) fügte zwei gleich weite und gleich lange Zweigrohre eines dreiarmligen Hörrohrs mit ihren beiden Enden luftdicht in die Gehörgänge, so dass ein zugeleiteter Ton beide Ohren in gleicher Stärke und Phase erreichen musste. »Hierbei wird nur eine Wahrnehmung gemacht und dieselbe nach der Medianebene des Kopfes verlegt«. Ein geringes Zusammendrücken des Zuleitungsschlauches einer Seite verhindert diese Medianlokalisation. Beim Aufsetzen von Gabeln auf die Kopfmitte wurde der Ton fast nur von älteren Versuchspersonen und zwar nur, wenn die Ohren unverschlossen waren, an der Ansatzstelle, sonst in den beiden Ohren gehört. Mit seiner Erklärung dieser Erscheinungen dürfte Kessel jedoch allein stehen: der Schall, durch die im Alter schlechter leitende Kopfknochensubstanz in geringem Maße zu den Labyrinthen abgeleitet, »staut sich« an der Ansatzstelle und wird deshalb, wenn

durch den Verschluss der Ohren in diesen nicht noch besonders verstärkt, auch dort gehört. Ebenso wie die einfachen Töne wurden auch die Schwebungen zweier rechts und links oder mitten auf den Kopf gesetzter Gabeln in der Medianebene gehört.

Nach einer weiteren Mitteilung von Urbantschitsch ⁵¹⁾ (1882) haben auch solche subjektive Intensitätsschwankungen von Gehörsempfindungen, die weder mit den Erscheinungen der Ermüdung noch mit denen des An- und Abklingens zu verwechseln sind, Einfluss auf die Lokalisation eines diotisch gehörten Tones. Solche Intensitätsschwankungen, welche den akustischen Sinnesempfindungen wohl selbst eigentümlich sind, erschienen nämlich ganz regellos und zwar auch dann, wenn, um Verwechselungen und Störungen zu vermeiden, die Dauer der Reizeinwirkung nicht zu lang und immer gleich genommen, und nach jedem Versuche eine Pause von mehreren Sekunden eingeschaltet wurde; bei gleich starker Zuleitung eines Tones zu beiden Ohren vermittelt einer T-förmigen Röhre waren sie an dem Springen oder Wandern der Lokalisation desselben von Ohr zu Ohr deutlich zu erkennen.

Endlich hat Urbantschitsch ⁴⁷⁾ (1883) auch bei subjektiven Gehörsempfindungen oft eine mittlere Lokalisation gefunden. Dass dieselben hier beiderseits bestanden, unterliegt wohl keinem Zweifel, da die Lokalisation bei akustischer Reizung eines der Ohren, durch welche subjektive Gehörsempfindungen daselbst geschwächt oder verdrängt zu werden pflegen, nach dem anderen Ohre zu wanderte. Auch wenn dieses Wandern bei einseitiger Ohrerkrankung nur unter akustischer Reizung des gesunden Ohres erfolgt, wird die interaurale Lokalisation nicht anders zu erklären sein; nur wird man hier annehmen müssen, dass die subjektive Hörempfindung des gesunden Ohres in ihrer Stärke von der des kranken abhängt.

Stumpf²² kennt die interaurale Lokalisation fast nur vom Hörensagen (II. 54). Doch hat er auch selbst bei Obertönen von c^3 an aufwärts (II. 236) und bei Schwebungen höherer Töne (II. 468) eine Lokalisation in der Schädeldecke beobachtet. Falls hier nicht bloß eine veränderte Deutung vorliege, meint er, müsse diese Erscheinung wohl aus der Aufhebung des Unterschiedes und dem Zusammenfallen der quasi-lokalen Momente der beiderseitigen Tonempfindungen erklärt werden.

Dass Stumpf die Medianlokalisation so selten und nur in gewissen Lagen beobachtet hat, erklärt sich jedenfalls aus individuellen Abweichungen. Ich für meinen Teil möchte vermuten, dass hieran der qualitative Hörunterschied beider Ohren schuld ist, von dem Stumpf (II. 320) berichtet. Nahe bei c^3 bemerkte er auch einen Umkehrpunkt für diese Differenz, in dessen Nähe sich letztere meist verringert. Wie unter dieser Voraussetzung das Eigentümliche in Stumpf's Beobachtungen erklärt werden kann, wird aus den weiteren Erfahrungen verständlich werden.

Schaefer¹⁴⁾ (1890) beschäftigte sich besonders mit der Lokalisation von Schwebungen und Differenztönen. Er stellte dabei eine Reihe von Versuchen an, in denen er die beiden oft verschieden starken Primärtöne je in irgend einem Intensitätsverhältnis zu beiden Ohren gelangen ließ. Wurden nun z. B. zwei Gabeln (in entsprechenden Qualitätsdistanzen) auf die Mitte eines 1,5 m langen beide Ohren verbindenden Kautschuk-schlauches gesetzt, und gelangten demnach beide Töne in ungefähr gleicher Intensität (und Phase!) zu beiden Ohren, so wurden Schwebungen wie Differenztöne derselben, die also auch beiderseits in gleicher Intensität entstanden, in die Medianebene lokalisiert und wanderten auch bei Verschiebung der Gabeln nach der infolgedessen stärker erregten Seite hin. Dieselbe

Medianlokalisation fand sich auch oft, wenn die beiden Gabeln vor die Ohren verteilt, und besonders, wenn sie auf korrespondierende Punkte des Schädels gesetzt waren. Wurden ferner die Töne zweier vor die Ohren verteilter und verschieden stark angeschlagener Gabeln durch Resonatoren beträchtlich verstärkt, so erschienen die etwaigen Schwebungen derselben immer auf der Seite der lautereren, die Differenztöne auf derjenigen der leiseren Gabel, und beide wanderten bei allmählicher Schwächung des lautereren Gabeltones in entgegengesetzter Richtung durch den Kopf zum anderen Ohre. Wurde eine Gabel (c^2) mit Resonanzkasten vor die Stirn gehalten, und eine zweite ungefähr gleiche allmählich einem der Ohren angenähert, so schienen die Schwebungen erst von vorn, dann wechselnd aus der Region zwischen beiden Gabeln und schließlich von der zweiten allein zu kommen. Bei Verteilung der Gabeln vor die Ohren wurden die Schwebungen auch öfter zugleich beiderseits in den Ohren oder längs einer die Gehörgänge verbindenden Geraden gehört. Bei Anwendung schwächerer Gabeln in den obigen Versuchen konnte endlich jenes Wandern der Schwebungen, welches übrigens bei einer Stärkeänderung des Schallzuflusses zu einem Ohre relativ deutlicher hervortrat als bei einer solchen der einen Tonquelle, nur mit besonderer Aufmerksamkeit wahrgenommen werden.

Die mit der diotischen Hörbarkeit jedes der beiden Prüfungstöne gegebene Kompliziertheit der Reizbedingungen in den obigen Versuchen erschwert deren Verwertung außerordentlich. Ist doch in den meisten derselben weder zu erkennen, in welcher Phasendifferenz, noch in welchem Intensitätsverhältnis die Primärtöne je beide Ohren erreichen. Trotzdem wird vielleicht mit einiger Sicherheit festgestellt werden können, auf welche Bedingungen ihres Auftretens die gegenwärtigen Lokalisationserscheinungen hinweisen. — Der erste Versuch, in welchem absolute Gleichheit

der beiderseitigen Reizbedingungen besteht, weist zunächst das Auftreten einer einheitlichen Medianlokalisation an Schwebungen und Differenztönen nach, welche hier ebenfalls in beiden Ohren gleiche Stärke und Phase haben müssen. Aber auch eine geringe diotische Phasendifferenz derselben hindert, wie die nächsten Versuche zeigen, wo freilich auch die Verschiedenheit der beiderseitigen Erregungen hinsichtlich der Intensität und Phase ihrer Teiltöne zumal bei Schallzuleitung durch die Kopfknochen keine bedeutende sein kann, ihre Medianlokalisation nicht. Nach den Thompson'schen Versuchen scheint freilich die Phasendifferenz diotischer Erregungen keineswegs bedeutungslos für deren Lokalisation; aber einerseits wird jene Erfahrung, welche sich nur auf einfache objektive Töne bezieht, nicht ohne weiteres auf Differenztöne oder gar Schwebungen, für welche die Phasendifferenz doch eine — hier freilich wohl schon infolge der hohen Schwebungsfrequenz nicht bemerkbare — Abweichung vom Synchronismus der beiderseitigen Maxima und Minima bedeutet, übertragen werden können, andererseits weichen auch die Reizbedingungen jener Versuche von den obigen insofern ab, als die beiden Primärtöne dort getrennt je zu einem Ohre, hier aber zusammen je zu beiden gelangen. Änderte sich nun aber hier, etwa durch Dämpfung einer der beiden Schallquellen, das Verhältnis der beiderseitigen Komponenten dieser Erscheinungen hinsichtlich ihrer Intensitäten, welche sich bei den Schwebungen übrigens nicht nach ihrer Deutlichkeit, sondern nach ihrer mittleren Erregungsstärke und bei den Differenztönen nach derjenigen ihres schwächeren Primärtones bestimmen, so wanderten dieselben, ganz wie in den früheren Versuchen die einfachen Töne, je nach der Seite ihrer stärkeren Komponente. Der nächstfolgende Versuch — eine leicht verständliche Modifikation des vorigen — lehrt uns nichts neues. Wichtiger sind die nächsten Beobachtungen, dass die Schwebungen öfter, wenn

jeder der Primärtöne die beiden Ohren in sehr verschiedener Stärke traf (wie dies bei Verteilung der Gabeln vor dieselben sicher anzunehmen ist), in mehreren Richtungen zugleich lokalisiert erschienen und sich bei Abschwächung eines der Prüfungstöne von da allmählich nach der Seite des anderen zurückzogen. Vorausgesetzt dass bei der interauralen Lokalisation der besondere Ort vom Intensitätsverhältnis der beteiligten diotischen Erregungen abhängt (und dies scheint nach den Beobachtungen bei einseitiger Intensitätsänderung eines diotisch zugeleiteten Tones unzweifelhaft), lässt jene Erscheinung darauf schließen, dass die Gesamterregung jeder Seite solche Faktoren der Lokalisation mehrfach und in verschiedener Stärke in sich schließe, diese darauf, dass die der gedämpften Schallquelle entsprechende Reizqualität auf deren Seite selbst an der Hervorrufung aller jener Faktoren und zwar in verschiedenem Maße beteiligt ist, welches letztere nur angeht, wenn dieselben anatomisch von einander getrennt entstehen. Hiernach scheint eine interaurale Lokalisation, wodurch auch im übrigen die paarweise Beziehung der beiderseitigen Faktoren bedingt sein mag, nur dann entstehen zu können, wenn korrespondierende Bahnen in beiden Ohren gleichzeitig Erregungen leiten. Bei qualitativ gleicher Reizung beider Ohren sind nun wenigstens in normalen Fällen die Intensitätsverhältnisse der korrespondierenden Faktoren in allen Paaren gleich; mit einem Höhenunterschied der Reize treten aber, obwohl er ja an sich eine interaurale Lokalisation nicht verhindert, in diesen Verhältnissen positive und negative Abweichungen von jenem ersten Werte auf, welche je nach der Größe der Distanz Verbreiterung, Spaltung und endlich Lateralisation der Lokalisation bedingen. Diese Abweichungen dürften nur daraus zu erklären sein, dass qualitativ verschiedene Erregungen Gruppen von Bahnen überziehen, die sich nicht völlig, nur teilweise oder gar nicht decken. Das Fehlen einer

einheitlichen interauralen Lokalisation bei Stumpf und wohl auch in den 2,2% der Körting'schen Fälle erklärt sich bei dieser Auffassung leicht aus dem Bestehen einer Diplakusis, welche für das Intensitätsverhältnis jener Faktoren der Lokalisation wohl dasselbe bedeutet, wie in normalen Fällen eine qualitativ verschiedene Reizung beider Ohren*).

In einer weiteren Arbeit bestätigt Schaefer²⁴⁾ (1890) zunächst die besonders von Urbantschitsch beobachteten individuellen Eigentümlichkeiten der diotischen Lokalisation bei qualitativ und intensiv gleicher Erregung beider Gehörorgane. Ferner hat Schaefer die Abhängigkeit der interauralen Lokalisation vom Intensitätsverhältnis der beiderseitigen Erregungen untersucht und gefunden, dass sich auch bei sehr beträchtlichem Intensitätsunterschiede der letzteren eine solche Lokalisation namentlich durch unmittelbare Vergleichung mit der rein lateralen leicht nachweisen lasse, wenn auch im übrigen die Wahrnehmung einer Ortsveränderung weniger präcis sei, als diejenige der sie bedingenden Intensitätsänderung des einen Reizes. Bewegte er zwei gleichgestimmte vor die Ohren verteilte Gabeln a tempo nach rechts und links, so wurde bei schneller Bewegung, wo man dem Alternieren nicht folgen konnte, ein Schweben der Tonempfindung in beiden Ohren, bei langsamer jedoch ein

*) Vielleicht hat auch die im zweiten Teile des ersten Abschnitts behandelte Verstärkung von Ohr zu Ohr die Erregung korrespondierender Nervenendigungen zur Voraussetzung; wenigstens hat Stumpf auch von dieser Erscheinung, welche normaler Weise mit jener die qualitativ gleiche Reizung beider Ohren als ihre günstigste Bedingung gemein hat, nichts beobachten können. Darüber, wo diese Nervenendigungen liegen, (Endigungen, weil hier doch eine neue Verteilung der Erregungen auf die verschiedenen Bahnen erfolgt), lassen sich nur Vermutungen aussprechen. Eine eventuelle Diplakusis muss aber auf die Verteilung von Einfluss sein; auf die Interferenzvorgänge hat sie keinen, weshalb letztere vor diesem Orte statthaben müssen.

Wandern derselben von Ohr zu Ohr wahrgenommen. Die letztere Erscheinung trat auch, wie schon Thompson bemerkte, bei sehr geringer Verstimmung der Gabeln spontan ein. Bei geringer Vermehrung der Frequenz wurden die Schwebungen (ca. 4. p. S.) meist in der Medianebene, bei größerer jedoch wohl immer auf beiden Seiten gehört. Endlich bemerkte Schaefer bei allmählicher Verstärkung der Schwingungen eines Bell'schen Telephons, das vor einen Trichter gebracht seinen Schall vermittelt eines gegabelten Schlauches zu beiden Ohren (jedenfalls auf gleich langen Wegen, also in gleichen Phasen) sandte, ein Wandern des Tonortes von außen bis in die Kopfmitte, und bei Schwächung derselben sowie bei Ermüdung beider Gehörorgane durch anhaltende Reizung ein solches in umgekehrter Richtung. Da jedoch genau dieselbe Erscheinung bei Annäherung bezüglich Entfernung einer etwa in der Medianebene befindlichen Schallquelle vom Beobachter eintrete, und ja auch öfter ein schwacher Schall intrakraniell, ein starker dagegen extrakraniell lokalisiert werde, so glaubt er, dass es doch weniger die Intensität der Schallempfindung als ihre besondere Nuance sei, welche den Tonort bestimme.

Aber durch ersteres Experiment ist diese Bedeutung der Intensitätsänderung, welche letztere ja dort nicht ausgeschlossen ist, keineswegs widerlegt, und bei Ausnahmefällen, wie den letztgenannten, wäre die Annahme, dass das Urteil durch Nebenumstände modifiziert sei, auch kaum zu gewagt. Die Angaben Schaefer's über die Merklichkeit der Lokalisationsänderungen sind leider, da in den Versuchen (es wurden vor die Ohren zwei gleichtönende Telephone verteilt, deren eines in verschiedene Entfernungen vom Beobachter gebracht wurde) die beiden Töne weder sicher getrennt noch auch immer in gleichen Phasen zu den Ohren gelangten, nicht ganz einwandfrei. Sind aber, wie wir schon oben gesehen haben, für die Lokalisation die Inten-

sitätsverhältnisse ihrer beiderseitigen Faktoren bestimmend, so muss natürlich auch ein Wechsel dieser eine Veränderung jener bedingen. Der nächste Versuch, der jene Bedingung durch die alternierende Intensitätsschwankung beider Erregungen erfüllt, bestätigt ja auch diese Folgerung. Dass dieselbe Erscheinung des Wanderns auch bei ganz langsamen Schwebungen auftritt, kann uns, wenn wir bedenken, dass jeder der beiden Töne auf verschieden langen Wegen beide Ohren erreicht, wo er mit dem anderen interferiert, ebenfalls nicht wunder nehmen; denn dadurch, dass hier auf der einen Seite der höhere Ton dem tieferen, auf der anderen der tiefere dem höheren in der Phase voraus ist, müssen die auf beiden Seiten entstehenden Schwebungen, wie eine leichte Überlegung zeigt, eine Abweichung vom Synchronismus aufweisen. Die geringe Qualitätsverschiedenheit beider Reize hat hier nicht viel zu sagen, sie könnte wohl nur eine geringe Verbreiterung der Lokalisation hervorrufen. Denn erst bei viel höheren Schwebungsfrequenzen sind, wie wir oben gesehen haben, die einzelnen Verhältniswerte der Erregungsintensitäten korrespondierender Nerven-elemente so verschieden, dass die Lokalisation eine merkliche Spaltung zeigt. Jede der beiden Lokalisationen müsste hiernach natürlich immer noch ein obschon vielleicht weniger ausgedehntes Wandern erkennen lassen, wenn dasselbe sich hier nicht schon bei weitem zu schnell vollzöge, um noch in seinen einzelnen Stadien verfolgt werden zu können. Anstatt der wandernden stellen sich hier eben wohl etwas unruhige oder unbestimmte Durchschnitts-Lokalisationen ein. Dass die doppelseitige Lokalisation der Intensitätsschwankungen, wie sie Schaefer bei gleichen Tönen durch schnelle alternierende Stärkeänderungen erzielte, und die wohl eine Folge davon ist, dass während des Wechsels die seitlich lokalisierten Tonempfindungen die übrigen sowohl an Dauer wie an Stärke übertrafen, durchaus kein Analogon zu der

doppelseitigen Lokalisation der Schwebungen bildet, bedarf wohl nicht erst der Erwähnung. Die Erscheinung des Wanderns bei Schwebungen ist nun aber von Thompson auch dann beobachtet worden, wenn sicher nur eine direkte Leitung jedes Tones zu einem Ohre stattfand, weshalb die obige Erklärung derselben aus einer doppelten Interferenz auch für diesen Fall wohl zutreffen könnte, zumal sie ja in derselben Form schon aus der Modifikation der Klangfarbe eines Einzelklanges und auch aus der Schwäche der Schwebungen beim diotischen Hören gegenüber dem monotischen postuliert werden musste. Die geringere Ausdehnung des bei verstimmtten Oktaven an dem tieferen Tone bemerkbaren Wanderns, welches jedenfalls dieselbe Ursache hat wie dasjenige bei verstimmtten Primen, wird wohl auf Rechnung einer geringeren Stärke der Schwebungen auf der Seite des höheren Tones zu setzen sein.

Bezold ⁶⁵⁾ (1890) berichtet, dass bei einer Hyperakusie des einen Ohres, die sich nach Beseitigung eines verhärteten Baumwollpfropfens aus dessen Gehörgang einstellte, jedweder Schall von der Seite dieses Ohres zu kommen schien.

Von einer Urteilstäuschung kann aber bei dieser Erscheinung wohl ebensowenig die Rede sein wie z. B. beim Kontrast.

Bloch ³²⁾ (1893) endlich fand die Angabe Thompson's bezüglich des Lokalisationswechsels bei Änderung des Intensitätsverhältnisses der beiderseitigen Erregungen, nicht aber diejenige betreffs der Lokalisation bei Zuleitung der Reize in gleichen oder entgegengesetzten Phasen ganz bestätigt, sondern beobachtete unter beiden Bedingungen eine Medianlokalisation des Tones, die im ersten Falle in der Stirn, im zweiten aber

65) Bezold, Urteilstäuschungen nach Beseitigung einseitiger Harthörigkeit. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. Bd. 1, p. 486. 1890.

in oder hinter der Mitte des Kopfes ihren Platz hatte. An diesem Unterschiede, der durchaus nicht sehr erheblich ist, wurde doch die Phasendifferenz der beiderseits zugeleiteten Erregungen bei allen untersuchten Tönen (bis gegen 2000 Schw. p. S.) in 75—92 % der Fälle richtig erkannt. Bei dem schon früher (pag. 58) in anderem Zusammenhange angeführten Versuche beobachtete Bloch während der Annäherung der einen Gabel nicht, wie man nach obigem infolge der hierbei stattfindenden Veränderung des Intensitätsverhältnisses erwarten sollte, ein Wandern der Lokalisation nach der Medianebene zu, sondern eine doppelte Lokalisation in beiden Ohren, welche erst einer Medianlokalisation Platz machte, sobald die beiden Gabeln gleich stark gehört wurden.

Wenn wir auch hier auf eine Erklärung dieses letzten Versuchesresultates verzichten müssen, so kann uns seine Abweichung von dem obigen doch vielleicht aus der Verschiedenheit der Bedingungen verständlich werden. Denn während in diesem eine reine Änderung des Intensitätsverhältnisses der zugeleiteten Töne statt hat, liegt in jenem daneben noch eine Änderung der Phasendifferenz vor. Die Verschiedenheit der Medianlokalisation bei diotischer Tonzuleitung in gleichen und entgegengesetzten Phasen kann nur in dem diesen Wechsel begleitenden Unterschiede der Klangfarbe oder der Stärke der Tonempfindung ihren Grund haben. Für die Ursächlichkeit des ersteren spricht wohl die Angabe von Urbantschitsch, dass er den Ort eines median lokalisierten Tones mit der Höhe von hinten nach vorn in die Stirn rückend gefunden habe (hier würde freilich die umgekehrte Richtung verlangt), für die des letzteren die Beobachtung von Schaefer, dass bei Verstärkung eines diotisch zugeleiteten Telephontones dessen Ort in der Medianebene sich demgemäß von außen dem Kopfe näherte, dann in denselben förmlich hineinkroch und endlich

zwischen den Ohren Halt machte. Es wäre vielleicht nicht unpassend, die Beobachtung von Urbantschitsch — Änderungen der Reizstärken hat er nicht vorgenommen — damit zu erklären, dass höhere Töne größere Empfindungsstärke als tiefere zu besitzen pflegen.

Von den Ergebnissen der obigen Erörterungen dürften besonders die folgenden für die Erkenntnis der diotischen Schalllokalisation wichtig sein. Was zunächst die interaurale Lokalisation im allgemeinen betrifft, so fand sich als ihre Grundbedingung die Erregung korrespondierender Nervenendigungen in beiden Gehörorganen, eine Bedingung, welche normaler Weise nur bei Gleichheit der Qualität diotischer Tonwahrnehmungen (als einfache Schallempfindungen, Schwebungen, Differenztöne oder subjektive Hörempfindungen) von beliebiger Intensität, Qualität oder Klangfarbe vorliegt, dagegen bei Verschiedenheit ihrer Qualität, sie mag, wie es scheint, auch nur von einer Diplakusis herrühren, immer fehlt. Gleichzeitige interaurale Lokalisationen, welche qualitativ verschiedenen Reizpaaren entsprechen, scheinen von einander durchaus unabhängig. Von der besonderen Richtung der Lokalisation zwischen dem reinen Rechts und Links wird ferner anzunehmen sein, dass sie von der Intensität der bezüglichen beiderseitigen Wahrnehmungen abhängen — alles, was jene betrifft, als Änderung der Reizstärke, der Hörschärfe, An- und Abklingen, Ermüdung, Hyperakusie, subjektive Intensitätsschwankung, ist ja von Einfluss auf die Lokalisation — und zwar immer einem besonderen Intensitätsverhältnis derselben (die Medianlokalisation dem Werte 1) entsprechen. Die hier von Urbantschitsch bei verschiedenen Personen bemerkten Abweichungen, sie mögen den Ort oder den Ortsunterschied betreffen, welcher einem bestimmten Verhältniswerte oder Wertunterschiede entspricht, werden sicher aus Funktionsanomalien der Schallleitungsapparate zu erklären sein.

Die mehrfache Lokalisation diotischer Wahrnehmungen ferner kann vielleicht auf Diplakusis zurückgeführt und so als mitten-inne stehend zwischen mittlerer und doppelseitiger Lokalisation aufgefasst werden. Wie freilich ein Übergang derselben in eine Medianlokalisation bei bloßer Reizverstärkung möglich sei, bleibt noch zu erklären. Die Bemerkung Schaefer's, dass es einer ziemlich beträchtlichen Intensitätsänderung eines der Faktoren der Lokalisation bedürfe, um eine eben merkliche Ortsverschiebung derselben zu erzielen, kann wohl nur für seitliche Lokalisationen gelten; denn für die Medianebene giebt Lord Rayleigh schon eine Abweichung, bei welcher der Unterschied der beiderseitigen Reizstärken nur 1 % beträgt, als bemerkbar an. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die Reihe gleichmerklicher Ortsunterschiede einer arithmetischen Reihe von Intensitätswerten des dabei veränderlich gehaltenen Reizes parallel gehe. Jedenfalls aber kann die Lokalisation nicht auf einer Intensitätsvergleiche der beiderseitigen Reize beruhen, es müsste denn in obigem Falle statt des 1 % nach Rayleigh's Messung richtiger 20 % zu setzen sein. Betreffs der Entfernungen der Lokalisation vom Kopfmittelpunkte legen die bisherigen Beobachtungen die schon oben erörterte Annahme nahe, dass sie sich umgekehrt wie die Reizintensitäten verhalten. Auch in der Richtung der Lokalisation zwischen dem reinen Vorn und Hinten sind deutliche, freilich bisher nicht erklärbare Unterschiede zumal zwischen verschiedenen Personen gefunden worden. — Die Thatsache, dass die Lokalisationserscheinungen sich nicht nur bei objektiv, sondern auch bei subjektiv bedingten Hörempfindungen oder Stärkeschwankungen irgend welcher akustischer Wahrnehmungen einstellen beziehungsweise ändern, dürfte auf einen mehr centralen Ort der ihnen entsprechenden Beziehungsvorgänge hinweisen.

D. Die Modifikationen der Zusammensetzung.

Unter diesem Titel wollen wir Erscheinungen behandeln, welche in einer unter bestimmten Verhältnissen auftretenden Bereicherung derjenigen Empfindungssumme bestehen, welche sich aus den beiden, den primären Erregungen entsprechenden Empfindungsqualitäten zusammensetzt. Zu diesen Erscheinungen ist natürlich kein negatives Analogon denkbar; überhaupt sind Fälle, in denen die Bereicherung auf Verstärkung, der Verlust auf Schwächung gewisser Teilerregungen zurückzuführen ist, nicht hierher zu beziehen. Als Bereicherungen der Zusammensetzung sind nun beim monotischen Hören vor allem die Kombinationstöne bekannt. Beim diotischen Hören hat man solche zunächst nicht wahrnehmen können, obgleich man schon frühzeitig die Aufmerksamkeit auf diesen Punkt richtete, weil man ihn für entscheidend in der Frage der Kopfknochenleitung hielt.

In der von Dove⁶⁾ (1859), Terquem und Boussinesq¹¹⁾ (1875), Thompson¹²⁾ (1877) und auch noch von Cross und Goodwin²⁶⁾ (1891) auf die Nichtwahrnehmung von Differenztönen gestützten diesbezüglichen Entscheidung versteckt sich die Annahme, dass Differenztöne nie subliminale Stärke haben können.

Wie ungerechtfertigt diese Annahme ist, erhellt schon aus folgenden von Thompson¹⁷⁾ (1881) angestellten Versuchen. Bei verstimmtten Intervallen (Oktaven, Duodecimen) von der Form $n : 1$ fanden sich immer nur Schwebungen des tieferen Tones, mochten die Töne von gedackten Orgelpfeifen oder von Stimmgabeln getrennt zu den beiden Ohren geleitet werden. Dieses Schweben war von einer Lokalisationsänderung desselben Tones begleitet, woraus wir schon im vorigen Abschnitte auf die Existenz einer dem tieferen Tone entsprechenden Erregung auf der

Seite des höheren geschlossen haben. Waren ferner beide Schallquellen in demselben Zimmer aufgestellt, und konnte sonach eine teilweise Vermischung der beiden Oktaventöne eintreten, ehe sie die Ohren erreichten, so wurden ebenfalls nur Schwebungen des tieferen Tones wahrgenommen und zwar beiderseits. War hierbei der tiefere Ton besonders laut, so waren die Schwebungen für dasjenige Ohr, welches vornehmlich den höheren Ton empfangt, war letzterer der stärkere, dann schienen sie für das andere Ohr am deutlichsten.

Diese Schwebungen des tieferen Tones bei Intervallen von der Form $n : 1$ deuten wohl mit Sicherheit auf die Anwesenheit von Differenztönen sogar verschiedener Ordnung. Dass dieselben für sich allein neben den Primärtönen nicht wahrgenommen wurden, bildet natürlich kein Hindernis für die Annahme ihrer Existenz; denn derselbe Ton, welcher mit einem anderen deutliche Schwebungen giebt, braucht, wie wir wissen, für sich allein durchaus nicht hörbar zu sein. Das zuletzt angeführte Experiment Thompson's lehrt von neuem, dass der Kombinationston um so stärker ausfällt, je geringer die Intensitätsdifferenz der Primärtöne ist. Derselbe entsteht hier natürlich in beiden Ohren, wo er dann mit dem tieferen Tone schwebt. Übrigens ist nur im zweiten Falle der tiefere Ton in demjenigen Ohre, welches er stärker erregt, zugleich Träger der deutlicheren Schwebungen, welche deshalb leicht zu beobachten sind. Im ersten Falle dürfte die starke Erregung des einen Ohres die Beobachtung der Schwebungen im anderen doch etwas stören.

Dieselben Schwebungen bei verstimmtten Oktaven konnte Stumpf²²⁾ (II. 496 f.) besonders deutlich nur bemerken, wenn er den Kopf zwischen die mit ihren Resonanzkästen verbundenen Gabeln brachte; doch vernahm er sie auch, wenngleich bedeutend schwächer, bei frei vor den Ohren tönenden Gabeln. »Hier

wird«, meint er, »die Bildung des Kombinationstones eben nicht durch die Luftleitung unterstützt.«

Letzteres dürfte freilich nicht ganz stimmen, zumal feststeht, dass ein mittellauter Schall, z. B. der einer Uhr oder Stimmgabel, die sich dem einen Ohre gegenüber befindet, bei Verschluss des letzteren im anderen sogar oft gehört wird (conf. Dennert⁶⁶⁾ und Lucae⁶⁷⁾ [1875], sowie Guye⁶⁸⁾ [1888]). Genau genommen ist jene Annahme — dazu mit der Modifikation, dass die Luftleitung samt der freilich wohl weniger wichtigen Luft-Knochenleitung nicht allein zur Bildung des Kombinationstones genüge — erst dann gerechtfertigt, wenn bei Verschluss des der höheren Gabel zugewendeten Ohres keine Schwebungen des tieferen Tones hörbar sind.

Schaefer²⁴⁾ (1890) bemerkt endlich, dass das Intervall der Primärtöne in den Thompson'schen Versuchen nur sehr wenig von dem rein gestimmten abweichen dürfe, wenn jene Schwebungen deutlich hörbar sein sollen. Doch auch einen deutlich wahrnehmbaren Differenzton erzielte er bei verteilten Gabeln, nämlich wenn ihre Intensität nicht die gleiche war. Derselbe erschien dann auf der Seite der leiseren Gabel, d. h. dort, wo die den beiden Tönen entsprechenden Erregungsstärken die geringere Differenz aufwiesen. Bei sehr starken Primärtönen konnte deren Stärkeunterschied auch $= 0$ sein; der Differenzton, welcher hier offenbar beiderseits in gleicher Stärke entstand, wurde dann in der Medianebene gehört.

66) Dennert, Zur Gehörsprüfung auf Grund einer Beobachtung von Nekrose der Schnecke. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 10, p. 231. 1875.

67) Lucae, Über Ausstoßung der nekrotischen Schnecke mit Bemerkungen über den relativen Wert der üblichen Methode der Hörprüfung. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 10, p. 236. 1875.

68) Guye, De l'ombre sonore, comme cause d'erreur dans la mesure de l'acuité auditive. Revue mens. de Laryng. 1888, No. 11. (n. R.)

Hiernach scheint lediglich die Differenz, nicht die Verteilung der Intensitäten auf die interferierenden Erregungen für die Stärke des Differenztones maßgebend zu sein. Bei den verstimmten Intervallen müssen dann auch die Schwebungen als beiderseits bestehend gelten. Leider ist in allen diesen Versuchen die Luftüberleitung nicht ausgeschlossen.

Die Thompson'schen Versuche sind sonach wohl die einzigen, die in einwurfsfreier Weise die Existenz wirklich diotischer Differenztöne darthun. Andere Bereicherungen der Zusammensetzung sind dagegen überhaupt noch nicht beobachtet worden. Entstehen können nun die Differenztöne wohl nur aus einer Mischung der beiderseitigen Erregungen, einer Art der Beziehung, die, wie ich schon im ersten Abschnitt zu zeigen versuchte, kaum den ständigen, wohl aber den periodischen Intensitätsmodifikationen zu Grunde liegen wird. Es ist deshalb sehr wahrscheinlich, dass Differenztöne und Schwebungen als zwei, sei es dem Wesen oder nur dem Grade nach verschiedene Folgeerscheinungen desselben Beziehungsvorganges, der Interferenz, anzusehen sind. Diese neue Anforderung an die Interferenzvorgänge charakterisiert zwar ihren Ort noch nicht eindeutig, doch hilft sie mit, die zu fordernden lokalen Verhältnisse mit den objektiv vorliegenden zur Deckung zu bringen.

S c h l u s s .

Um uns hier noch einmal das auf Grund der vorliegenden Erfahrungen entworfene Bild deutlich vor Augen zu führen, wollen wir versuchen, zwei gleichzeitige Erregungen beider Gehörorgane auf ihrem Wege zu verfolgen.

Von einander getrennt je nur eines der Ohren treffend, versetzen sie darin alles leicht Bewegliche in Schwingungen, dann immer in oscillatorischer Form sich verbreitend und

weilerschreitend, begegnen sie einander. Was aus dieser Interferenz centripetal weiterfließt, sind zwei neue oscillatorische Erregungen, welche einfache Sinuswellen oder Schwebungen darstellen, je nachdem die zugeleiteten Erregungen (nur auf diese kommt es an) gleiche oder verschiedene Wellenlänge hatten. Zwei verschieden gut leitende und ungleich lange Wege führen die letzteren je zu den beiden Ausgangspunkten der kombinierten Erregungen; als deren Komponenten zeigen sie deshalb gegenüber der anfänglichen Differenz ihrer Intensitäten sowohl wie ihrer Phasen eine gewisse und zwar in beiden Resultanten entgegengesetzte Abweichung; erstere bewirkt, dass deren Intensitätsschwankungen bei (künstlicher oder spontaner) Änderung der Phasendifferenz der zugeleiteten Erregungen nicht bedeutend, letztere, dass sie nicht synchron sind, dadurch bei Schwebungen die Undeutlichkeit und niedrige Grenze für ihre Frequenz und Tonhöhe, bzw. die wandernde Lokalisation bedingend, welche letztere freilich bei größerer Frequenz nicht mehr verfolgbar, einer Durchschnitts-Lokalisation Platz macht. Die oben besprochene Verschiedenheit zwischen der Intensitäts- und Phasendifferenz der Erregungen bei ihrer Zuleitung und bei ihrer Interferenz ist ferner eine ihrer Amplitude bezüglich ihrer Schwingungsfrequenz proportionale, weshalb einerseits die Deutlichkeit der Schwebungen bei konstantem Intensitätsverhältnis jener beiden Erregungen immer dieselbe ist, andererseits in einem obertonreichen Klange beim diotischen Hören die tieferen Töne gegen die höheren hervortreten, wenn seine Schwingungen in beiden Ohren immer gleich, und umgekehrt, wenn sie immer entgegengesetzt gerichtet sind. Bei entsprechenden Qualitätsdistanzen der beiden Komponenten werden aus der Interferenz auch Differenztöne hervorgehen können; wenigstens scheint die Bedingung ihrer Entstehung durch die Mischung der beiderseitigen Erregungen gewissermaßen gegeben.

Die beiden aus der Interferenz resultierenden Erregungen gehen alsbald eine neue Beziehung ein. Wahrscheinlich aber schon vorher erreichen sie einen Ort, an welchem zahlreiche Bahnen entspringen, die alle von einander getrennt weiterführen. Jene beiden Erregungen breiten sich nun über gewisse mit ihrer Qualität wechselnde Gruppen solcher Bahnen aus, die einzelnen in verschiedener Intensität durchlaufend. Eine eventuelle Diplakusis hat, einen ebensolchen Wechsel bedingend, hier ihren Sitz. Aus der neuen Beziehung resultieren nun wieder zwei Erregungen, welche aber, da ihre Intensitäten, obzwar von einer etwaigen Phasenverschiebung der Komponenten durchaus unabhängig, doch ebensowohl positiv wie negativ von deren Intensität abweichen können, kaum aus einer Mischung jener Komponenten entstanden sein dürften. Das Resultat des Beziehungsvorganges ist also wohl nur eine Intensitätsmodifikation seiner Faktoren. Bei gleicher Qualität der Erregungen von positivem Werte, wird sie mit der Distanz abnehmend bald negativ, um sich dann wieder bei weiterer Vergrößerung des Qualitätsunterschiedes allmählich dem Werte 0 zu nähern. Außerdem wird das Maß der Modifikation für jeden der Faktoren noch von ihrem Intensitätsverhältnis abhängen. Den Vorgang selbst haben wir uns wohl so zu denken, dass jede der Erregungen eine synergische Steigerung der Leitfähigkeit des anderen Organs für qualitativ ähnliche und zugleich eine kompensatorische Herabsetzung derselben für qualitativ ferner stehende Erregungen hervorruft. Bestimmt unter den auf die verschiedenen Bahnen verteilten, aber demselben Reize entsprechenden Erregungen die stärkste zugleich die Höhe der Tonempfindung, so muss eine solche, durch einen qualitativ verschiedenen Reiz gewirkte Intensitätsmodifikation, welche die einzelnen Erregungen doch in verschiedenem Maße betrifft, im allgemeinen von einer Tonhöhenänderung begleitet sein. Eine paarweise Verbindung korrespon-

dierender Bahnen beider Seiten mag dieser ganzen Wechselwirkung als lokale Grundlage dienen.

Eine solche wird auch gefordert durch die binauralen Lokalisationserscheinungen, welche eine Beziehung diotischer Erregungen begleiten, die (wohl die einzige Bedingung) in solchen korrespondierenden Bahnen verlaufen. Bei diotischen Reizungen giebt es immer gleichzeitig so viele von einander unabhängige interaurale Lokalisationen, als es solche Paare Erregungen leitender Bahnen giebt. Der spezielle Ort der Lokalisation zwischen dem reinen Rechts und Links hängt vom Intensitätsverhältnis dieser Erregungen ab. Eine qualitative Verschiedenheit der beiderseitigen Reize oder eine Diplakusis ist (wenn bedeutender) nur deshalb ein Hindernis für die einheitliche interaurale Lokalisation, weil sie zugleich einen Intensitätsunterschied jener Erregungen setzt.

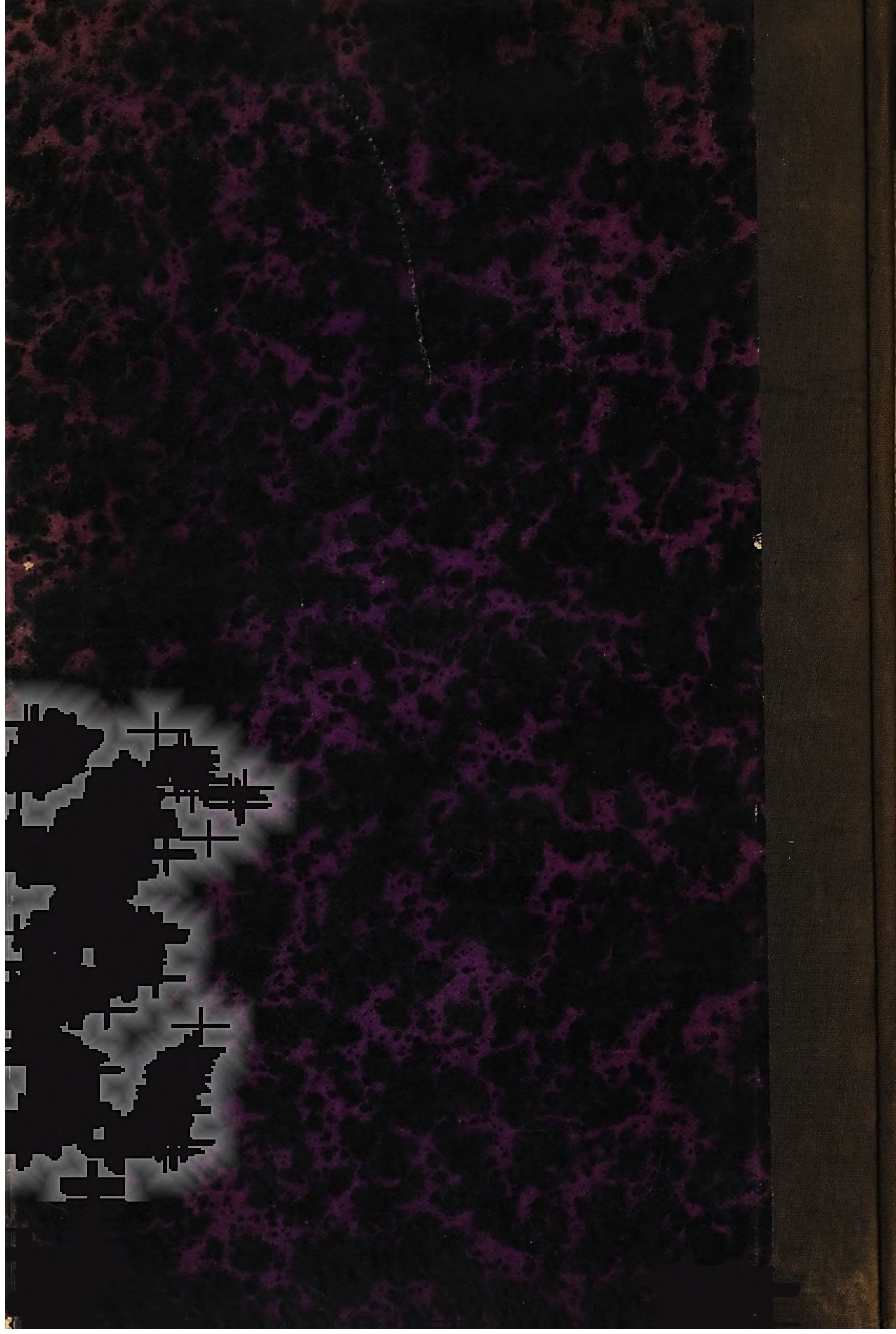
Die drei hier unterschiedenen funktionellen Beziehungen beider Gehörorgane können wir wohl, ohne sie damit endgültig zu charakterisieren, kurz als unmittelbare, mittelbare und heterogene bezeichnen.

Lebenslauf.

Geboren zu Leipzig am 10. August 1867, wurde ich, Paul Konstantin Lamoral Rostosky, Sohn des Postrats Bernhard Rostosky und seiner Gemahlin Marie geb. Proessel, im evang.-luth. Glauben erzogen und erhielt meine erste Schulbildung in Leipzig und Dresden. Sodann besuchte ich die Gymnasien zu Potsdam und Zittau, sowie die Kreuzschule und das Wettiner Gymnasium zu Dresden, welches letztere ich Ostern 1889 mit dem Reifezeugnis verließ, um mich in Leipzig dem Studium der Theologie zu widmen. Nachdem ich (Mich. 1889—90) meiner militärischen Dienstpflicht genügt, setzte ich meine theologischen Studien in Greifswald, Tübingen und Leipzig fort. Von Ostern 1892 an wandte ich mich der Philosophie und den Naturwissenschaften zu. Ich hörte nun insbesondere die Vorlesungen der Herren Professoren Wundt, Wiedemann, Fricker, Volkelt, von Oettingen, Richter, Külpe und der Herren Privatdozenten Meumann und Barth und war außerdem 7 Semester unter der Leitung des Herrn Geheimrat Prof. Dr. Wundt im psychologischen und 2 Semester unter derjenigen des Herrn Geheimrat Prof. Dr. Wiedemann im physikalischen Institute thätig.

Allen meinen hochverehrten Lehrern, insbesondere den beiden letztgenannten Herren sage ich hiermit meinen herzlichsten Dank.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.



Rostosky, Paul

Über funktionelle Beziehungen beider Gehörorgane ...

Leipzig 1897

Anat. 365 r

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11800092-6